МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

В. Ф. Самойлов

Большой телевизионный экран

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

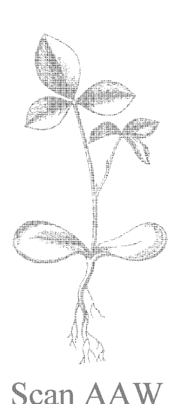


МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 437

В. Ф. САМОЙЛОВ

БОЛЬШОЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ЭКРАН





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1962 ЛЕНИНГРАД

В брошюре рассматриваются основы теории работы телевизионных проекционных систем, предназначенных для создания большого экрана, даются примеры прикидочных расчетов, иллюстрирующие достоинства и недостатки этих систем, приводятся краткие характеристики и элементы конструкции практически осуществленных проекционных устройств.

Брошюра рассчитана на радиолюбителей, интересующихся телевизионной техникой.

6Ф3 *Самойлов Владимир Федорович*

С17 **Большой телевизионный экран.** М.—Л., Госэнергоиздат, 1962

64 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека, Вып. 437).

6Ф3

* * *

Редактор *К. Г. Лопатин* Техн. редактор *В. В. Ежжин*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 14/XII 1961 г. Подписано к печати 21/III 1962 г.

Т-00985 Бумага 82×107$^1/_{32}$ 3,28 печ. л. Уч.-изд. л. 4,2

Тираж 45 000 экз. Цена 17 коп. Зак. 694

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Телевидение развивается в нашей стране быстрыми темпами. Построены за последние годы и строятся в настоящее время десятки телевизионных центров и ретрансляционных станций, выпущены миллионы телевизионных приемников различных марок. Идут работы по внедрению цветного телевидения в радиовещание. Телевидение с каждым днем получает все большее и большее применение в промышленности, технике, на транспорте. Наши замечательные космические корабли оснащаются телевизионным оборудованием.

В телевидении, как и во всякой новой технике, имеется еще ряд важных проблем, не решенных или решенных только частично. К таким проблемам можно отнести разработку достаточно простого и экономически выгодного способа передач телевизионных программ на большие расстояния; создание высококачественной и доступной для массового вещания системы цветного телевидения и увеличение телевизионных экранов до размеров киноэкранов. Рассмотрению последней из перечисленных проблем, а именно — проблемы создания большого телевизионного экрана, и посвящена настоящая брошюра.

Практика показывает, что наилучшее расстояние зрителя от телеэкрана с соотношением сторон 4 : 3 * должно быть в 3—5 раз больше высоты экрана. При таком расстоянии наблюдение телевизионного изображения будет наиболе удобным и менее утомительным для зрителя. В этом случае не нужно поворачивать голову для наблюдения различных мест изображения, так как глаз охватывает всю поверхность экрана, а также нет необходимости напрягать зрение при рассматривании мелких деталей изображения. Последнее, конечно, справедливо для лиц с нормальным зрением или при использовании правильно подобранных очков.

Считая в среднем, что в обычной жилой комнате зритель может находиться от экрана телевизора на расстоянии 3—5 *м*, можно принять вполне достаточными размеры экрана 120×90 *см*. Для общественных помещений (красных уголков, фойэ клубов и театров, домов отдыха, школ и т. п.) размеры телеэкрана должны быть еще больше (должны приближаться к размерам киноэкрана).

Кроме прямого увеличения размеров экрана за счет увеличения размеров приемной трубки, можно представить себе другой, более перспективный путь. В этом втором способе нет необходимости увеличивать размеры экрана приемной трубки. Пусть эта трубка (рис. 1) создает на своем небольшом экране изображение, которое

* Для принятого по отечественному стандарту формата кадра отношение его ширины к высоте составляет 4 : 3.

даже не светится. Нужно только, чтобы прозрачность экрана была различной: на светлых местах изображения она должна быть больше, а на темных меньше. Таким образом, в этом случае экран трубки с изображением будет напоминать кадр кинепленки или диапозитив. Достаточно мощная проекционная система проецирует затем это изображение на большой экран. Размеры экрана оказыва-

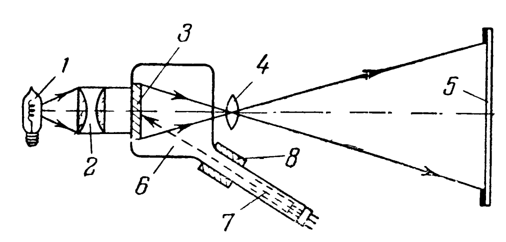


Рис. 1. Проекционная телевизионная система со специальной трубкой.
1 — источник света; *2* — конденсор; *3* — кристаллический экран; *4* — объектив; *5* — большой экран; *6* — электронный луч; *7* — электронный прожектор; *8* — отклоняющие катушки.

ются практически неограниченными, определяемыми только светосилой проекционной оптики, мощностью источника света и теплостойкостью экрана.

В качестве вещества, покрывающего экран такой электроннолучевой трубки и изменяющего свою прозрачность в зависимости от интенсивности электронного луча, мог бы служить хлористый калий. Бомбардировка электронами заставляет кристаллики хлористого калия темнеть, т. е. уменьшать свою прозрачность.

Проекционная установка с такой трубкой, получившей название скиатрон, нашла применение в радиолокации для получения на большом экране неподвижных или малоподвижных изображений. К сожалению, в телевидении трубку с экраном, покрытым кристаллическим хлористым калием, применить не удается. Причиной этого является, во-первых, инерционность восстановления прозрачности кристаллов хлористого калия, в связи с чем изображение, полученное на экране из этого материала, долго не исчезает. В результате движущиеся части изображения будут смазаны. Во-вторых, контрастность изображения оказывается недостаточной.

Тем не менее рассматриваемый способ в своей идее является многообещающим, позволяющим при помощи хорошо разработанной кинопроекционной оптики получать телеэкраны любых размеров. Если удастся найти для экрана приемной трубки вещество, создающее под действием электронного луча контрастное черно-белое изображение, пропадающее затем примерно за время передачи одного кадра (1/25 *сек*), то проблема большого экрана будет полностью решена.

За последние годы в Швейцарии была разработана телевизионная проекционная система «Эйдофор», в основе которой заложена та же идея схемы, что и на рис. 1. В системе «Эйдофор» в качестве экрана, модулирующего световой поток независимого источника света, используется тонкий слой вязкой жидкости, деформирующий-

ся под действием развертывающего электронного луча. Этот слой интенсивно освещается и отраженный от него свет через специальную решетку проекционной оптикой направляется на большой экран. Система «Эйдофор» позволяет получить экран с большими размерами и достаточной яркостью, но из-за сложности и большой стоимости установок они не находят массового применения. В частности, слой жидкости на экране трубки довольно быстро в вакууме испаряется, что резко ограничивает срок службы. Кроме того, это испарение ухудшает вакуум, в результате чего установка может работать только в режиме непрерывной откачки специальным высокопроизводительным вакуумным насосом.

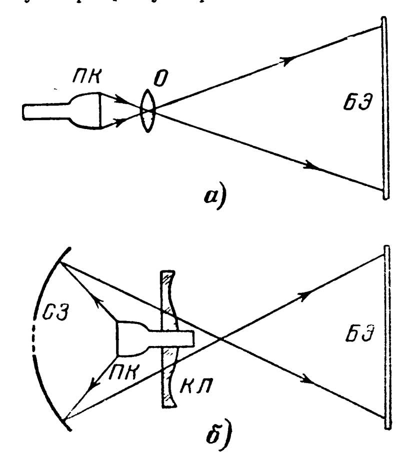


Рис. 2. Схемы телевизионных проекционных систем с проекционным кинескопом. *а* — с линзовым объективом; *б* — с зеркально-линзовым объективом Шмидта.

В настоящее время для создания большого телевизионного изображения наиболее широко используются из-за их доступности проекционные установки, состоящие из проекционного кинескопа и специальной высокоэффективной оптики. В этих установках проекционный кинескоп имеет небольшой экран, на котором создается изображение весьма высокой яркости, получающейся за счет применения значительно повышенных по сравнению с обычным кинескопом анодного напряжения и тока луча.

Изображение с экрана проекционного кинескопа ПК (рис. 2) проецируется оптикой на большой экран *БЭ*. В первых таких устройствах для проекции использовались линзовые объективы *О*, такие же, как и для проекции кинофильмов. Однако впоследствии стала применяться зеркально-линзовая оптика со сферическим зеркалом *СЗ* и корректирующей линзой *КЛ*, имеющая значительно больший к. п. д ., а следовательно, и создающая большую яркость изображения.

Система с проекционным кинескопом является сейчас наиболее хорошо разработанной и распространенной и поэтому в настоящей брошюре подробно рассматриваются основы теории ее работы, а также выявляются ее достоинства и недостатки. Приводимые в брошюре прикидочные расчеты позволят радиолюбителю-конструктору правильно оценить эффективность той или иной телевизионной проекционной системы.

Системы с проекционным кинескопом и специальной оптикой создавались и создаются для получения экранов самых различных размеров (от единиц до десятков квадратных метров). В табл. 1 для иллюстрации собрано несколько примеров таких систем с указанием основных геометрических, светотехнических и электрических параметров.

Название телевизионной установки (страна)	Год выпуска	Анодное напряжение, *кв*	Диаметр экрана кинескопа, *см*	Тип проекционной системы	Относительное отверстие	Размеры экрана, *м*	Яркость экрана, *нт*
Baird (Англия)	1939	45	17,5	Линзовый объектив	1 : 1,8	3,6×4,5	5
Fernseh (Германия)	1940	80	20	То же	1 : 1,9	3×4	10
Philco-2500 (США)	1947	20	10	Зеркально-линзовый объектив Шмидта	1 : 0,8	0,38×0,4	12
RCA, PT-100 (США)	1951	80	17,5	То же	1 : 0,82	4,5×6,5	17
Philips El-5750 (Голландия)	1953	50	12	„ „	1 : 0,8	3×4	13
„Эрмитаж“ (СССР)	1954	60	18	„ „	1 : 0,8	3×4	15
„Москва“ (СССР)	1957	25	6,5	„ „	1 : 0,8	0,9×1,2	15—20

ГЛАВА ПЕРВАЯ
КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ОПТИКИ

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЛИНЗ

Чтобы лучше понять работу телевизионных проекционных систем, необходимо хотя бы кратко ознакомиться с основными сведениями из оптики и светотехники (или освежить их в своей памяти).

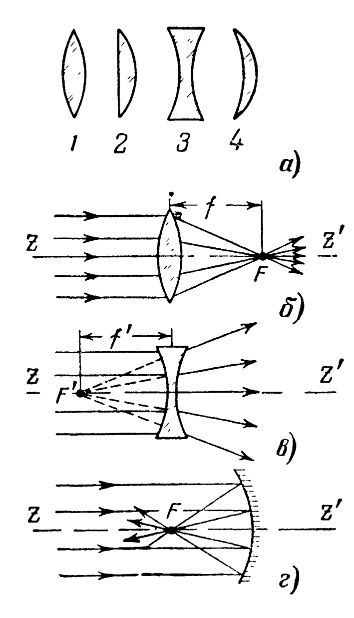


Рис. 3. Линзы и их оптические элементы.
а — типы линз (*1* — двояковыпуклая; *2* — плосковыпуклая; *3* — двояковогнутая; *4* — мениск или выпукловогнутая); *б* — действительный фокус F собирающей линзы; *в* — мнимый фокус F' рассеивающей линзы; *г* — действительный фокус F сферического зеркала.

Для получения на экране изображения освещенного (или самосветящегося) предмета используются объективы, состоящие из комбинации нескольких линз. Линза представляет собой прозрачное тело, имеющее сферические поверхности. По виду этих поверхностей линзы разделяются на двояковыпуклые, плосковыпуклые, двояковогнутые и др. (рис. 3,*а*). Все эти виды линз можно разделить на два класса: собирающие и рассеивающие Примером собирающей линзы может служить двояковыпуклая. Двояковогнутая линза является рассеивающей.

Если на собирающую линзу падает пучок параллельных лучей света, то эти лучи после прохождения сквозь линзу соберутся примерно в одной точке F (рис. 3,*б*), называемой ф о к у с о м л и н з ы и расположенной на оси симметрии линзы ZZ', называемой также о п т и ч е с к о й о с ь ю. Пучок параллельных лучей света, падающий на рассеивающую линзу (рис. 3,*в*), после прохождения сквозь линзу рассеивается. Если этот расходящийся конус лучей мысленно продлить в обратную сторону, то место схождения лучей на оптической оси (которое толь-

ко приблизительно можно считать точкой) образует так называемый **мнимый фокус** F'.

Свойством собирать пучок параллельных лучей света в одну точку обладает также и зеркало, имеющее сферическую поверхность (рис. 3,*г*). Параллельный пучок света, падающий на поверх-

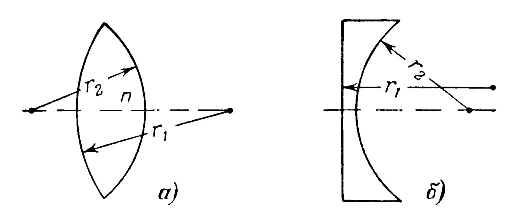


Рис. 4. Радиусы кривизны линзы.
а — для двояковыпуклой линзы; *б* — для плосковогнутой линзы.

ность сферического зеркала, отражается и собирается также около одной точки F, называемой фокусом.

Расстояние от фокуса до линзы называется **фокусным расстоянием** f (или f')* и является важным параметром, характеризующим работу линзы. Фокусное расстояние двояковыпуклой тонкой линзы определяется следующей формулой:

$$f = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{r_1 r_2}{r_2 + r_1}, \qquad (1)$$

где n — коэффициент преломления стекла (или другого прозрачного материала из которого сделана линза), а r_1 и r_2 — радиусы кривизны стенок линзы (рис. 4). Например, для симметричной линзы

$$r_1 = r_2 = r$$

и

$$f = \frac{r}{2(n-1)}, \qquad (2)$$

т. е. фокусное расстояние оказывается пропорциональным радиусу кривизны стенок линзы. Таким образом более выпуклая линза имеет более короткое фокусное расстояние.

Если пучок лучей света, параллельных оптической оси, падает на линзу с другой стороны, то, пройдя сквозь линзу, он также сойдется около одной точки на оптической оси, но уже по другую сторону линзы. Таким образом, каждая линза имеет два фокуса и два фокусных расстояния. Для тонких линз оба фокусных расстояния оказываются равными.

Линза обладает свойством обратимости. Это свойство заключается в том, что если поместить точечный источник света в фокус

* Такое определение понятия фокусного расстояния справедливо только для достаточно тонких линз, у которых толщина значительно меньше фокусного расстояния.

линзы, то расходящийся конус лучей, пройдя через линзу, выйдет из нее приблизительно параллельным пучком.

Зная взаимное расположение светящегося объекта, линзы и ее фокусов, можно простым геометрическим построением найти положение и размеры изображения, создаваемого линзой. Для этого построения используем два луча: луч AA'' (рис. 5,*а*), параллельный оптической оси ZZ', и луч AB'', проходящий через фокус F_1. Луч AA'', пройдя линзу, пойдет через фокус F_2, а луч AB'' — параллельно оптической оси ZZ'. Пересечение лучей $A''A'$ и $B''A'$ определяет

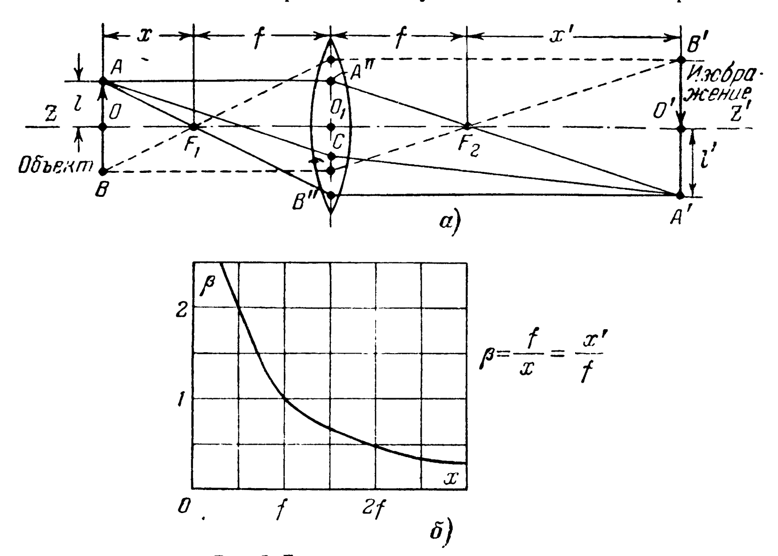


Рис. 5. Геометрическая оптика линзы.
а — схема геометрического построения положения и размеров изображения; б — график зависимости коэффициента увеличения β и расстояния x' до изображения от расстояния x до объекта.

положение точки A', являющейся изображением точки A на объекте. Любой другой луч, исходящий из точки A (например, AC), пройдя линзу, должен попасть также в точку A'.

Таким построением можно получить изображение любой точки объекта, например точки B, показанной на том же рисунке и определяющей положение объекта. Ее изображение — точка B' — определяет положение изображения.

В зависимости от расположения объекта относительно фокуса F_1, т. е. от расстояния $OF_1 = x$, величина изображения $A'B'$ может быть больше или меньше соответствующей величины объекта AB. Найдем эту зависимость коэффициента увеличения $\beta = \frac{A'B'}{AB} = \frac{l'}{l}$ от расположения объекта. В соответствии со схемой построения введем следующие обозначения:

$$AO = l;\ A'O' = O_1B'' = l';\ OF_1 = x;\ F_1O_1 = f.$$

Из схемы построения следует:

$$\frac{AO}{OF_1}=\frac{O_1B''}{O_1F_1}.$$

Используя вышеприведенные обозначения, получим:

$$\frac{l}{x}=\frac{l'}{f}.$$

Коэффициент увеличения (отношение длины отрезка на изображении к соответствующей длине на объекте) определится из полученного выше соотношения следующей формулой:

$$\beta=\frac{l'}{l}=\frac{f}{x}. \qquad (3)$$

На рис. 5,*б* изображена зависимость β от x, построенная по формуле (3). При $x<f$ коэффициент $\beta>1$, т. е. действительно имеет место увеличение, а при $x>f$ размеры изображения оказываются меньшими соответствующих размеров объекта, причем коэффициент $\beta<1$ следовало бы здесь назвать «коэффициентом уменьшения».

Чем больше изображение по сравнению с объектом, тем дальше оно находится от линзы. Определим положение изображения (расстояние x') в зависимости от коэффициента увеличения. Из рис. 5,*а* имеем:

$$\frac{l'}{x'}=\frac{A''O_1}{O_1F_2}$$

или

$$\frac{l'}{x'}=\frac{l}{f},$$

т. е.

$$x'=\frac{l'}{l}f$$

или

$$x'=f\beta. \qquad (4)$$

Так как f величина постоянная, то x' изменяется так же, как и β, т. е. график на рис. 5, *б* может служить и графиком для x'. Чем больше увеличение β, т. е. чем меньше x, тем дальше отодвигается изображение от линзы.

Из выражений (3) и (4) получаем следующую простую связь между расстояниями объекта и изображения до соответствующих фокусов:

$$xx'=f^2. \qquad (5)$$

2. СФЕРИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ

В построениях на рис. 5,*а* предполагалось, что все лучи, исходящие из какой-либо одной точки объекта (например, из точки O) и прошедшие через линзу, снова собираются в одной точке изображения (например, в точке O'). На самом деле это не так. Можно

только приближенно считать, что изображение точки, создаваемой линзой, является тоже точкой. На самом деле только лучи, проходящие через линзу вблизи оптической оси (так называемые параксиальные лучи) собираются в одну точку. Периферические лучи, т. е. лучи, падающие на линзу вдали от оптической оси, после прохождения через линзу собираются в других точках, как показано на рис. 6.

Если экран расположить так, чтобы точка A' (изображение точки A) оказалась на этом экране, то эта точка будет окружена светящимся кружком ab, называемым кружком рассеяния.

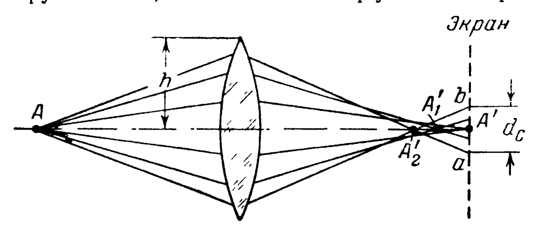


Рис. 6. Ход лучей при сферической аберрации линзы.

Если на изображении, кроме светлых элементов, имеются и темные, то эти темные элементы могут быть засвечены кружками рассеяния соседних светлых элементов. В результате контрастность * изображения снизится, оно будет вялым, плохо разборчивым. Очевидно также, что наличие кружков рассеяния приводит к дефокусировке, размытости контуров изображения.

Описанное явление несхождения лучей в одну точку изображения, вышедших из одной точки объекта и прошедших через линзу, называется **сферической аберрацией** и является важнейшим недостатком сферических линз и зеркал. Количественно сферическая аберрация может измеряться диаметром кружка рассеяния d_c. Для простой линзы она может быть вычислена по следующей приближенной формуле:

$$d_c \approx \frac{a}{f^2} h^3, \qquad (6)$$

где h — рабочий радиус линзы;

f — фокусное расстояние;

a — коэффициент сферической аберрации, зависящий от конфигурации линзы и коэффициента преломления материала, из которого она изготовлена.

Кроме того, коэффициент сферической аберрации зависит от взаимного расположения линзы и объекта. В табл. 2 приведены величины коэффициента сферической аберрации для нескольких типов линз, а также для сферического зеркала. В этой таблице принято, что объект находится в бесконечности, т. е. пучок лучей, падающих на линзу, является параллельным. Как видно из этой таблицы, сферическая аберрация сферического зеркала в десятки раз меньше,

* Контрастностью называется отношение яркостей самого светлого и наиболее темного мест изображения.

Таблица 2

Коэффициент сферической аберрации простых оптических элементов

Тип оптического элемента	Ход лучей	Положение элемента	Коэффициент сферической аберрации, a	Во сколько раз аберрация сферического зеркала меньше
Плосковыпуклая линза		Плоская поверхность обращена к объекту	9	36
То же		Выпуклая поверхность обращена к объекту	2,34	9,4
Двояковыпуклая равносторонняя линза		Любое	3,34	13,4
Сферическое вогнутое зеркало		Вогнутая часть обращена к объекту	0,25	—

чем у простых линз. Это замечательное свойство сферического зеркала позволяет создать сравнительно простую телевизионную проекционную систему. Более подробно этот вопрос будет нами рассмотрен ниже.

3. АБЕРРАЦИИ КОСЫХ ПУЧКОВ

Кроме сферической аберрации, линзы и зеркала обладают еще так называемыми *аберрациями косых пучков*. Эти аберрации также существенно портят изображение, вызывая его дефокусировку и геометрические искажения.

Существует четыре вида аберраций косых пучков: *астигматизм*, *кома*, *дисторсия* и *кривизна поля*. Причина этих аберраций заключается в несовпадении осей симметрии светового пучка и линзы (рис. 7). Косой пу-

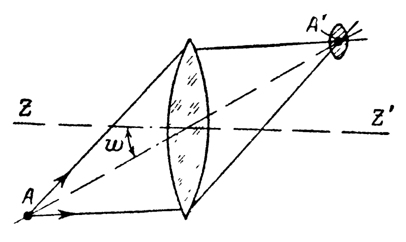


Рис. 7. Ход лучей косого пуска.

чок света, ось которого AA' находится под углом к оптической оси ZZ', даже при отсутствии сферической аберрации не сходится после прохождения линзы в одну точку.

При наличии только одного астигматизма изображение точки будет иметь вид эллипса, кома дает изображение точки в виде фигуры, представленной на рис. 8,*б*, дисторсия приводит к искривлениям линий на изображении (рис. 9). Кривизна поля сказывается в том, что изображение плоского объекта не будет плоским (рис. 10).

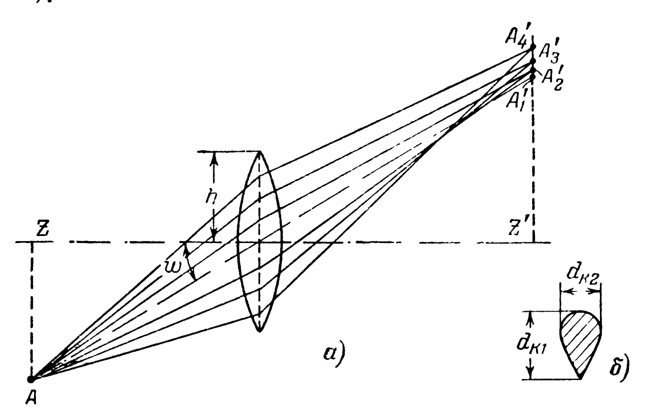


Рис. 8. Кома — аберрация косых пучков.
а — ход лучей при образовании комы; *б* — кома — искажение проецируемой точки.

Для пояснения возникновения аберраций косых пучков представим себе, что сферическая аберрация каким-либо образом устранена и пучок света, исходящий из точки на оптической оси линзы, после прохождения через линзу собирается в одну точку. Наклоним теперь этот пучок под углом w к оптической оси (рис. 8, *а*). Теперь центральный луч пучка не является осью симметрии линзы. Нарушение осевой симметрии приводит к тому, что даже при отсутствии сферической аберрации косой пучок не сойдется в одну точку A_1', а образует пятно $A_1'A_2'A_3'$.... Форма этого пятна походит на запятую и поэтому эта аберрация называется комой (по-немецки и по-английски „кома"—запятая).

Для одиночной линзы размер пятна комы примерно пропорционален квадрату рабочего радиуса линзы и первой степени угла наклона к оптической оси:

$$\left.\begin{aligned} d_{к1} &= k_1 h^2 w; \\ d_{к2} &= k_2 h^2 w, \end{aligned}\right\} \qquad (7$$

где k_1 и k_2 — постоянные коэффициенты, зависящие от формы линзы, коэффициента преломления ее материала и расстояния объекта до фокуса.

Поясним теперь возникновение другой аберрации — астигматизма. Представим себе, что сферическая аберрация и кома отсутствуют. Рассмотрим образование изображения точки A в двух плоскостях, а именно в плоскости, проходящей через точку A и оптическую ось линзы (рис. 11,*а*), и в плоскости, перпендикулярной пер-

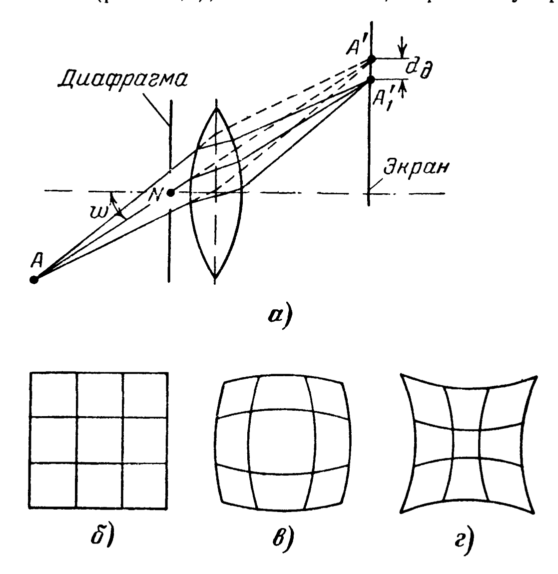


Рис. 9. Дисторсия — аберрация косых пучков.
а — ход лучей при образовании дисторсии; *б* — проецируемый объект; *в* — его бочкообразные искажения; *г* — его подушкообразные искажения.

вой плоскости и проходящей через центральный луч AA' (рис. 11,*б*). Как видно из сопоставления хода лучей на рис. 11, разрез линзы плоскостью, проходящей через линию AA' на рис. 11,*б*, дает радиус кривизны r' меньший, чем радиусы кривизны в плоскости на рис. 11,*а*. Таким образом, $r'<r$. Согласно формуле (2) фокусное

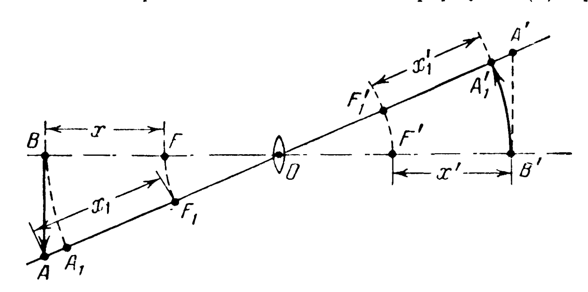


Рис. 10. Кривизна поля изображения — аберрация косых пучков.

расстояние в плоскости на рис. 11,*б* будет меньше, чем в плоскости на рис. 11,*а*. Это приведет к тому, что в разных плоскостях изображение точки A' окажется на разных расстояниях от линзы, т. е.

$$A'O > A''O.$$

Фигура рассеяния в этом случае будет зависеть от положения экрана. Если экран поместить так, чтобы на нем оказалась точка A',

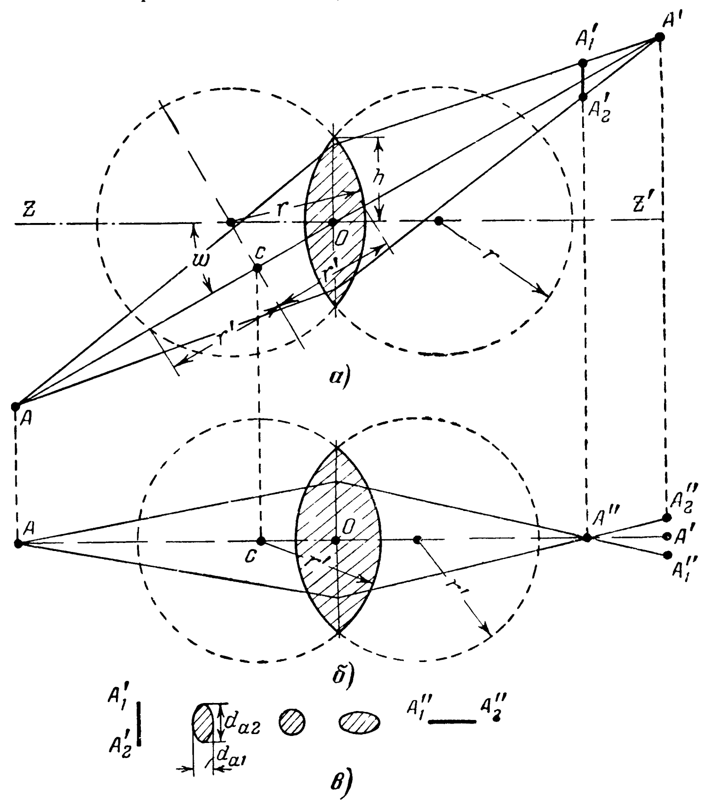


Рис. 11. Астигматизм — аберрация косых пучков.
а — ход лучей в плоскости объекта, изображения и главной оптической оси; *б* — ход лучей в плоскости, перпендикулярной первой плоскости и проходящей через центральный луч; *в* — фигуры рассеяния при астигматизме.

то изображение будет выглядеть в виде горизонтального отрезка $A_1''A_2''$ (рис. 11, *в*). Если же экран передвинуть в точку A'', то изображение будет иметь вид вертикального отрезка $A_1'A_2'$. В промежуточном положении экрана (между точками A' и A'') фигура рассеяния будет иметь вид эллипса или круга. Размер осей астигматиче-

ского эллипса примерно пропорционален первой степени рабочего радиуса линзы и второй степени угла наклона:

$$\left.\begin{aligned} d_{a1} &= a_1 h w^2; \\ d_{a2} &= a_2 h w^2 \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Третий вид аберрации косых пучков — дисторсия — приводит к геометрическим искажениям изображения. Если сильно задиафрагмировать линзу, т. е. оставить для прохождения света очень маленькое отверстие на оптической оси, то все рассмотренные ранее аберрации (сферическая, кома, астигматизм) резко уменьшатся и с ними можно будет не считаться. В этом случае остается одна только дисторсия, не зависящая от величины h. По законам геометрической оптики центральный луч пучка AA' (рис. 9), проходящий через центр диафрагмы N, должен пройти линзу без преломления. Однако, как видно из рис. 9, линза для центрального луча действует как преломляющая призма. В результате изображение точки A сместится из A' в A_1'.

В первом приближении дисторсия оказывается пропорциональной третьей степени угла наклона:

$$d_д = d w^3. \qquad (9)$$

Искажения, вносимые дисторсией, удобно иллюстрировать на примере объекта в виде решетки. Искажения изображения такого объекта, вызванные только дисторсией собирающей линзы, называются бочкообразными (рис. 9,*в*). Рассеивающая линза за счет дисторсии дает подушкообразные искажения изображения (рис. 9,*г*).

Для наглядного представления всех четырех рассмотренных аберраций и их воздействия на изображение удобно пользоваться

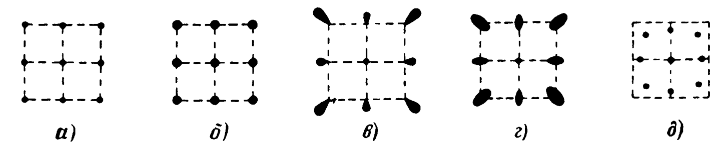


Рис. 12. Виды аберраций.
а — объект; *б* — сферическая аберрация; *в* — кома; *г* — астигматизм; *д* — дисторсия.

объектом из девяти точек, показанном на рис. 12. На этом же рисунке приведены также соответствующие виды искажений изображения при наличии только одной какой-нибудь аберрации.

Еще один вид аберрации косых пучков — кривизна поля изображения — проявляется, как уже отмечалось, в том, что изображение плоского объекта, перпендикулярного оптической оси линзы, оказывается не лежащим в одной плоскости, перпендикулярной оптической оси.

Возникновение кривизны поля можно объяснить следующим образом. Проведем через точку A объекта и центр линзы O вспомогательную оптическую ось AA' (рис. 10). Соответствующие фокусы на этой оси обозначим F_1 и F_1', причем $F'F_1'$ и FF_1 — дуги с центром

кривизны в точке O. Так как $AF_1 = x_1$ больше, чем $BF = x$, то согласно уравнению (5) $x'_1 < x'$, т е., другими словами, точка A объекта будет отодвинута дальше от своего фокуса, чем точка B. Поэтому согласно уравнению (5) изображение точки A не попадает в точку A', а приближается к линзе, образуя точку A'_1. В результате изображение A'_1B' оказывается изогнутым, и чтобы оно было резким, экран должен быть также соответственно изогнут.

Наконец, рассмотрим последний вид аберраций, так называемую хроматическую аберрацию, которая вызывается зависимостью коэффициента преломления от длины волны световых лучей. Более коротковолновые (синие) лучи света линза преломляет сильнее, чем длинноволновые (красные) в результате (даже при отсутствии всех других видов аберраций), изображение точки имеет вид

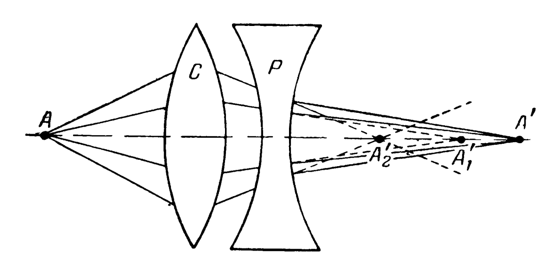


Рис. 13. Коррекция сферической аберрации собирающей линзы C при помощи рассеивающей линзы P.

кружка, состоящего из цветных колец (красного в центре, синего с краю). Хроматическая аберрация несколько напоминает сферическую (она также не является аберрацией косых лучей), но кружок рассеяния в этом случае оказывается раскрашенным.

Для простоты изложения вопроса мы рассматривали различные аберрации независимо друг от друга. На самом деле все аберрации существуют вместе и одновременно. Их действие сводится к дефокусировке изображения, к уменьшению его контрастности (уменьшению разницы в яркости светлых и темных мест изображения). Хроматическая аберрация, кроме того, может вызвать цветную окантовку контуров изображения, а дисторсия — геометрические искажения формы изображения.

Наиболее эффективным способом уменьшения аберраций (кроме дисторсии) является уменьшение рабочего диаметра линзы или так называемого входного отверстия, т. е. величины h. Очевидно, однако, что при уменьшении h уменьшится количество света, проходящего через линзу, т. е. уменьшится к. п. д. линзы.

Для улучшения работы оптики, т. е. для увеличения светового потока, проходящего через оптику, без существенного уменьшения диаметра входного отверстия используется комбинация из нескольких линз. Рис. 13 иллюстрирует способ уменьшения сферической аберрации собирающей линзы C при помощи рассеивающей линзы P с соответственно подобранными параметрами. У такой системы из двух линз точка схождения лучей на оптической оси несколько

отодвигается (A' вместо A_1' и A_2'), т. е. удлиняется фокусное расстояние, но зато существенно ослабляется аберрация.

Оптическая система из нескольких линз называется объективом. Подбором радиусов кривизны линз, толщины стекла в линзах, коэффициентов преломления, расстояний между линзами можно создать хорошо скорректированный объектив, у которого аберрации снижены до допустимой нормы. Однако такие объективы оказываются сложными и дорогими устройствами. Кроме того, у сложного многолинзового объектива трудно получить достаточно большое относительное отверстие (отношение рабочего диаметра входного зрачка к фокусному расстоянию), но чем больше относительное отверстие, тем большее количество света способен захватить объектив.

Так как условия работы объективов в различных оптических устройствах различны, то и требования, предъявляемые к объективам, тоже различны. Например, для целей фотографирования требуется довольно универсальный объектив, способный создавать четкое изображение объемных объектов, лишенное аберраций, в широком диапазоне расстояний от объектива до фотографируемого объекта. Для целей кинопроекции требования к объективу становятся проще; здесь требуется создать хорошее изображение плоского объекта (кадра на кинопленке) на плоском киноэкране при практически неизменном расстоянии от объектива до объекта и до изображения.

Для ориентировки читателя в табл. 3 приведены параметры некоторых проекционных объективов советского производства.

Таблица 3

Параметры проекционных объективов

Обозначение объектива	Фокусное расстояние, *мм*	Относительное отверстие	Угол поля зрения	Общая длина объектива, *мм*
РО-108	92,52	1 : 2	17°	73,5
РО-106	121,6	1 : 2	13°	136,3
П-5	90,38	1 : 2	17°	74,4
П-6	99,77	1 : 1,6	15° 20′	89,7

ГЛАВА ВТОРАЯ

СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КИНЕСКОПОВ

4. ОСНОВНЫЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Для прикидочных расчетов телевизионных проекционных систем ознакомимся с основными светотехническими величинами, позволяющими определять характеристики света и оценивать эффективность оптических систем. Мы кратко рассмотрим четыре наиболее часто используемые величины: световой поток, силу света, освещенность и яркость.

Световой поток. Обычный источник света излучает электромагнитные волны в широком диапазоне частот. Глаз человека способен, однако, воспринимать их энергию как свет только в ограниченном диапазоне длин волн, лежащем примерно от 0,4 до 0,7 *мк*. Мощность этой видимой части излучаемых электромагнитных волн называется световым потоком и обозначается буквой F.

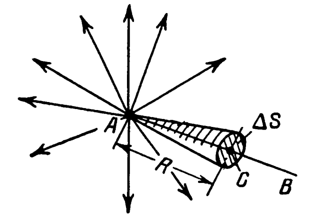


Рис. 14. К определению силы света.

Единица светового потока называется люменом (сокращенно *лм*). Один ватт мощности потока, излучаемого в диапазоне длин волн от 0,4 до 0,7 *мк* и создающего ощущение белого света, соответствует примерно 250 *лм*. Однако человеческий глаз наиболее чувствителен к желто-зеленому излучению. Поэтому 1 *вт* желто-зеленого света ($\lambda=0{,}55$ *мк*) соответствует большей величине светового потока, а именно 621 *лм*.

Сила света, обозначаемая буквой J, является плотностью светового потока и численно равна световому потоку, приходящемуся на единичный телесный угол.

Представим себе точечный источник света A (рис. 14). Количество света, излучаемое источником в разных направлениях, в общем случае может быть неодинаковым. Сила света характеризует эту неодинаковость. Определим, например, силу света по направлению AB. Вырежем мысленно маленькую площадку ΔS, перпендикулярную линии AB. Телесный угол,* ограниченный контуром этой площадки, определяется выражением

$$\Delta\omega=\frac{\Delta S}{(AC)^2}=\frac{\Delta S}{R^2}, \qquad (10)$$

а сила света вычисляется по формуле

$$J=\frac{\Delta F}{\Delta\omega}, \qquad (11)$$

где ΔF — световой поток, проходящий через площадку ΔS или, другими словами, ограниченный телесным углом $\Delta\omega$.

Единицей силы света является свеча (сокращенно *св*). Если в телесном угле, равном одному стерадиану, проходит световой поток в один люмен, то сила света в этом направлении равна одной свече.

Освещенность. Плотность светового потока по поверхности, на которую он падает, называется освещенностью (E) и определяется выражением

$$E=\frac{F}{S},$$

где S — площадь освещаемой поверхности.

---

* Единица телесного угла — стерадиан—есть отношение единицы площади площадки (1 $м^2$ или 1 $см^2$) к квадрату единицы длины радиуса.

Единицей освещенности является люкс (сокращенно *лк*). Освещенность в один люкс создается световым потоком в один люмен на площади в один квадратный метр. Для того чтобы читатель мог лучше представлять себе эту единицу освещенности, ниже дается несколько примеров, взятых из практики:

Освещаемый объект	Освещенность, *лк*
Киноэкран	40 — 200
Книга при ее чтении	20
Телевизионная студия (передающая трубка типа супериконоскоп)	2 000 — 3 000
Предметы в тени в летний день	1 000
Предметы на солнечном пляже в летний день	100 000

Яркость (*B*) характеризуется плотностью светового потока как по телесному углу, так и по площади. Однако в отличие от освещенности здесь имеется в виду площадь поверхности, не на которую падает свет, а с которой свет излучается.

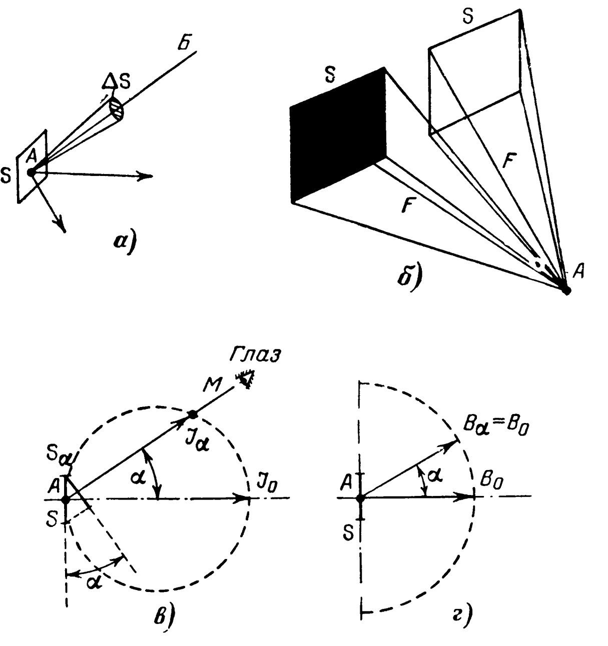


Рис. 15. Яркость.
а — к определению яркости; *б* — яркость вторичных источников света; *в* — диаграмма силы света; *г* — диаграмма яркости.

Представим себе светящуюся площадку *S* (рис. 15,*а*). Она излучает световой поток, плотность которого зависит от направления излучения. Таким образом сила света оказывается функцией направ-

ления. Яркость площадки B, также в общем случае зависящая от направления, определяется формулой

$$B = \frac{\Delta F}{\Delta\omega S} = \frac{J}{S}. \qquad (13)$$

Единицей яркости является стильб (сокращенно *сб*). Яркость в один стильб создается площадкой размером в один квадратный сантиметр при силе света в одну свечу в перпендикулярном к площадке направлении. Кроме стильба для измерения яркости используются также более мелкие единицы миллистильб (сокращенно *мсб*) и нит (сокращенно *нт*), причем 1 *мсб* $= 10^{-3}$ *сб*, 1 *нт* $= 10^{-4}$ *сб*, т. е. 1 *мсб* $= 10$ *нт*.

Светящиеся поверхности по способу их светового возбуждения можно разделить на два вида, а именно: на самосветящиеся (экран телевизора, нить лампы накаливания) и на вторичные источники света, отражающие или пропускающие часть падающего на них света (киноэкран, матовый плафон люстры). Во втором случае в формулу (13) нужно подставлять отраженный (пропущенный) световой поток $\Delta F_{отр}$, причем

$$\Delta F_{отр} = \rho \Delta F_{пад},$$

где ρ — коэффициент отражения (пропускания) освещаемой поверхности, а $\Delta F_{пад}$ — падающий на эту поверхность световой поток.

В отличие от освещенности яркость является такой светотехнической величиной, которая может быть оценена глазом количественно. Поясним это примером. Представим себе, что на две одинаковые по размерам поверхности падает одинаковый световой поток (рис. 15,*б*), причем одна из этих поверхностей черная (бархат), а другая — белая (бумага). Освещенности той и другой поверхности будут равны:

$$E = \frac{F}{S} \quad (S_1 = S_2 = S;\ F_1 = F_2 = F);$$

однако для глаза белая поверхность будет казаться яркой по сравнению с черной, что подтверждается следующим сопоставлением яркости:

$$B_1 = \frac{\rho_1 \Delta F_{пад}}{\Delta\omega S};\ B_2 = \frac{\rho_2 \Delta F_{пад}}{\Delta\omega S}.$$

Так как

$$\rho_1 < \rho_2,$$

то

$$B_1 < B_2.$$

Дадим для ориентировки несколько примеров яркости:

Объект	Яркость, *сб*
Киноэкран	0,001 — 0,003
Экран кинескопа	0,004 (40 *нт*)
Экран проекционного кинескопа	1 — 2
Пламя спички	0,5
Нить лампы накаливания	500 — 1 000
Кратер электрической дуги	10 000 — 20 000
Солнце	150 000

5. ЗАКОН ЛАМБЕРТА

Многие источники света (светящиеся площадки) излучают свет, распределение которого в пространстве подчиняется закону Ламберта * (закону косинусов). В частности, излучение экрана приемной телевизионной трубки довольно точно следует этому закону.

На рис. 15,*в* изображена (в профиль) светящаяся площадка S. Сила света J_α, излучаемого этой площадкой, зависит от направления, определяемого углом α между данным направлением и перпендикуляром к площадке. Для свечения, следующего закону Ламберта, сила света пропорциональна косинусу угла и определяется выражением

$$J_\alpha = J_0 \cos \alpha, \qquad (14)$$

где J_0 — сила света в перпендикулярном к площадке направлении.

Светящаяся площадка, у которой сила света подчиняется этому косинусоидальному закону, называется идеально рассеивающей. Для идеально рассеивающих площадок концы вектора силы света J_α будут находиться на сфере (в плоскости рис. 15,*в* — на окружности), касающейся площадки в точке A.

Глаз наблюдателя, находящийся в произвольной точке M, оценивает величину площадки S по ее проекции S_α. Кажущаяся величина площадки S, наблюдаемой под углом α, определяется выражением

$$S_\alpha = S \cos \alpha.$$

Отсюда следует, что яркость B_α, наблюдаемая из точки M, связана с этой проекцией соотношением

$$B_\alpha = \frac{J_\alpha}{S_\alpha}. \qquad (15)$$

Для идеально рассеивающих площадок $J_\alpha = J_0 \cos \alpha$, таким образом,

$$B_\alpha = \frac{J_0 \cos \alpha}{S \cos \alpha} = \frac{J_0}{S} = B_0. \qquad (15а)$$

Последнее показывает, что для идеально рассеивающей площадки яркость не зависит от направления наблюдения. Поэтому диаграмма яркости для идеально рассеивающих площадок (линия, на которой находятся концы векторов яркости) будет представлять собой окружность с центром, лежащим в точке A (рис. 15,*г*). Этим объясняется между прочим, что при наблюдении экрана телевизора изображение кажется одинаково ярким, вне зависимости от направления наблюдения.

6. ЯРКОСТЬ СВЕЧЕНИЯ ЭКРАНА КИНЕСКОПА

Сила света J излучения, создаваемого экраном кинескопа в направлении, перпендикулярном этому экрану, определяется следующей формулой (полученной экспериментальным путем):

$$J = kI_а (U_а - U_0)^n, \qquad (16)$$

* И. Ламберт, немецкий ученый XVIII в., основатель фотометрии — науки об измерении света.

где k — коэффициент пропорциональности;

I_a — ток луча кинескопа;

U_a — анодное напряжение, подаваемое на трубку;

U_0 — начальное анодное напряжение, ниже которого экран перестает светиться;

n — показатель степени, зависящий от многих физико-химических параметров люминофора, т. е. вещества, покрывающего экран трубки и светящегося под действием электронного луча.

Для умеренных анодных напряжений ($U_a=4\div6$ *кв*) величина n оказывается порядка 2. Для больших U_a можно принять $n\approx1$ (рис. 16). На практике U_0 составляет относительно небольшую величину (несколько сотен вольт). Так как в телевизорах всегда имеет место условие $U_a \gg U_0$ и $U_a > 4\div6$ кв, т. е. $n\approx1$, то можно формулу (16) упростить:

$$J \approx kI_aU_a. \quad (17$$

В этом случае коэффициент k приобретает простой физический смысл, определяемый отношением

$$k=\frac{J}{I_aU_a}=\frac{J}{P_a}\ [св/вт], \quad (18)$$

т. е величина k является коэффициентом светоотдачи, показывающим, какую силу света (в свечах) вызывает электронный луч на экране трубки, имеющий мощность (в ваттах) $P_a=I_aU_a$. Для экранов черно-белого телевидения коэффициент светоотдачи не превышает нескольких единиц, т. е. $k=2\div3$ *св/вт*.

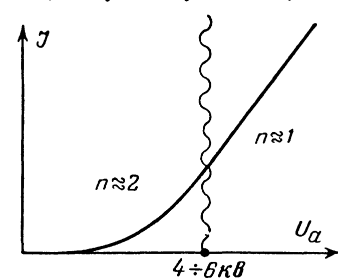


Рис. 16. Зависимость силы света J от анодного напряжения U_a.

Для определения яркости телевизионного экрана необходимо согласно формуле (13) силу света разделить на площадь экрана.

Для примера произведем подсчет яркости экрана обычного кинескопа.

Возьмем кинескоп 35ЛК2Б с размером экрана $S=28\times21$ *см*$=588$ *см*^{2}, который имеет максимальный ток луча $I_{a.макс}=150$ *мка*, анодное напряжение $U_a=12\,000$ *в* и коэффициент светоотдачи $k=2$ *св/вт*. Определим яркость экрана в самом светлом месте, где $I_a=150$ *мка*.

Сила света составит:

$$J=kI_aU_a=2\cdot150\cdot10^{-6}\cdot12\cdot10^3=3{,}6\ св.$$

Яркость экрана

$$B=\frac{J}{S}=\frac{3{,}6}{588}=0{,}006\ сб=60\ нт.$$

7. КОНТРАСТНОСТЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Важным показателем качества телевизионного изображения является его контрастность β. Эта величина определяется отношением яркости наиболее светлого места изображения $B_{\text{макс}}$ к яркости наиболее темного места $B_{\text{мин}}$, т. е.

$$\beta = \frac{B_{\text{макс}}}{B_{\text{мин}}}. \quad (19$$

Недостаток контрастности — малая величина β — приводит к тому, что изображение становится вялым, блеклым, как фотография при передержанной экспозиции.

Хорошая фотография имеет контрастность порядка 100 : 1. На экране же телевизора контрастность значительно ниже; она составляет 30 : 1, а иногда даже еще хуже (10 : 1). Причины недостаточной контрастности телевизионного изображения вызываются недостатками работы приемной трубки. Эти недостатки сводятся в общем к паразитной засветке темных мест изображения, в результате чего $B_{\text{мин}}$ увеличивается, а контрастность соответственно падает. Рассмотрим несколько основных причин такой засветки.

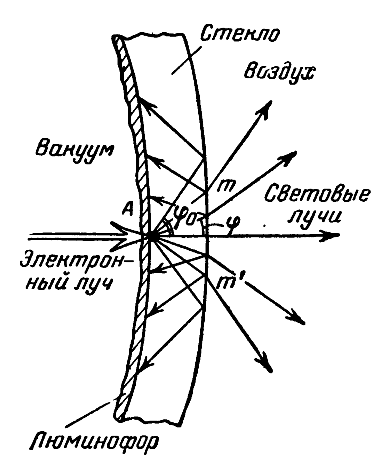


Рис. 17. Возникновение ореола на экране кинескопа.

Ореол. Это явление поясняется на рис. 17. Электронный луч вызывает в точке A свечение люминофора. Световые лучи, проходящие через переднее стекло трубки в воздух, претерпевают, во-первых, некоторое преломление на границе раздела оптических сред mm' и, во-вторых, частично отражаются на этой границе обратно внутрь стекла. Величина отраженных световых лучей будет тем больше, чем больше угол падения φ. При некотором угле φ_0, называемым углом полного внутреннего отражения, световые лучи вообще не будут выходить из стекла в воздух; произойдет полное внутреннее отражение. Для двух сред «стекло — воздух» этот угол $\varphi_0 = 42°$. Отраженные световые лучи, попадая опять на люминофор, освещают его, создавая светящееся кольцо — ореол вокруг основной светлой точки. Явление ореола приводит к снижению контрастности мелких деталей и переходов яркости в изображении.

Внутренняя подсветка. Эта паразитная подсветка возникает за счет отражения света от внутренней поверхности колбы кинескопа. Она снижает общую контрастность изображения как в мелких, так и в крупных деталях.

Явление внутренней подсветки иллюстрируется на рис. 18, Люминофор в месте попадания электронного луча светится в обе стороны — вперед, к зрителю, и назад, внутрь трубки. Отраженный

от внутренней поверхности колбы свет попадает опять на экран трубки, засвечивая темные места изображения.

Может показаться, что эта паразитная подсветка способна только незначительно повлиять на контрастность, так как отраженный свет, попадающий вновь на экран трубки, имеет очень малую интенсивность. Однако даже незначительная величина паразитной подсветки способна сильно снизить контрастность телевизионного изображения. Например, допустим, что эта небольшая подсветка вызовет также небольшую дополнительную яркость $B_{доп}$ на черных местах изображения, равную яркости $B_{мин}$ этих мест. В этом случае контрастность определится следующим выражением:

Рис. 18. Образование внутренней подсветки.

$$\beta = \frac{B_{макс} + B_{доп}}{B_{мин} + B_{доп}} = \frac{B_{макс} + B_{доп}}{2B_{мин}}.$$

Так как $B_{доп} \ll B_{макс}$, то это выражение можно заменить приближенным:

$$\beta = \frac{1}{2} \frac{B_{макс}}{B_{мин}},$$

т. е. в случае такой подсветки контрастность упадет вдвое и качество изображения резко ухудшится.

8. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ЭКРАНА

Довольно эффективным способом улучшения контрастности изображения является покрытие экрана трубки изнутри тонкой алюминиевой пленкой (рис. 19,*а*). Такая металлическая пленка создает следующие преимущества:

1) улучшает контрастность изображения, так как она препятствует прохождению света от светящегося люминофора внутрь колбы; 2) значительно увеличивает использование света, так как примерно половина световых лучей, которые в трубках без пленки бесполезно (и даже вредно) рассеиваются внутри трубки, теперь, отражаясь от зеркальной поверхности пленки, направляются в сторону зрителя; 3) защищает люминофор от бомбардировки отрицательными ионами, тем самым устраняя возможность возникновения на экране ионного пятна; 4) защищая в определенной мере экран, увеличивает допустимую мощность рассеяния энергии на нем, т. е. увеличивает допустимую величину тока луча и анодного напряжения кинескопа (это обстоятельство особенно важно для проекционных кинескопов, работающих при большой мощности луча).

Для хорошей работы трубки пленка должна быть достаточно тонкой, чтобы электронный луч легко проникал сквозь нее к люми-

нофору. В то же время она должна быть достаточно плотной и гладкой, чтобы хорошо отражать световые лучи по направлению к телезрителю. Хорошие результаты получаются, если материалом пленки является алюминий, а толщина ее составляет около 500 Å ($500 \cdot 10^{-8}$ *см*). Для того чтобы пленка имела зеркальную гладкую поверхность, шероховатый люминофор покрывают сначала тонким слоем прозрачного органического вещества — коллодия. Затем распылением наносится алюминий. После этого путем интенсивного прогревания экрана коллодий удаляется.

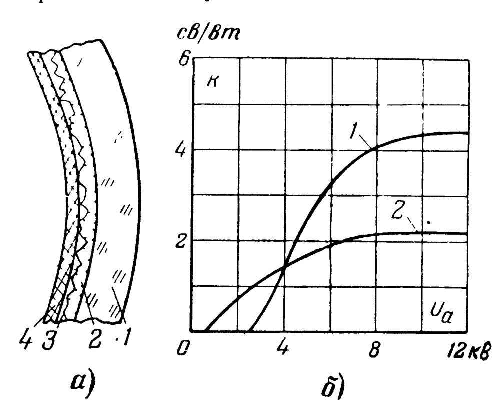


Рис. 19. Металлизация экрана кинескопа.
а — структура экрана (1 — переднее стекло, *2* — слой люминофора; *3* — коллодий; *4* — алюминиевая пленка); *б* — зависимость коэффициента светоотдачи *k* от анодного напряжения $U_а$ для алюминизированного (кривая *1*) и неалюминизированного (кривая *2*) экрана кинескопа.

На рис. 19,*б* дан график зависимости коэффициента светоотдачи экрана кинескопа в зависимости от анодного напряжения. Две кривых на этом графике соответствуют случаям наличия (кривая *1*) и отсутствия (кривая *2*) алюминиевой пленки. При невысоких анодных напряжениях (ниже 4 *кв*) алюминиевый экран не имеет преимуществ по сравнению с обычным экраном. Это обстоятельство объясняется тем, что электроны луча, имеющие малую скорость, не в состоянии проникнуть сквозь металлическую пленку и эффективно возбудить люминофор. При напряжении выше 8 *кв* коэффициент светоотдачи экрана с пленкой оказывается примерно вдвое больше, чем у экрана без пленки.

Покрытие экрана кинескопа изнутри тонкой металлической пленкой наиболее целесообразно для проекционных кинескопов. Эти кинескопы работают при больших анодных напряжениях (25—80 *кв*), поэтому проникновение электронного луча через пленку будет весьма эффективным. Для проекционного кинескопа важным является получение возможно большей яркости свечения экрана. Нанесение пленки существенно содействует выполнению этого требования.

9. КОНСТРУКЦИЯ ПРОЕКЦИОННЫХ КИНЕСКОПОВ

Нет необходимости делать проекционый кинескоп с большим экраном, так как этот кинескоп не предназначается для непосредственного наблюдения. Большой экран, как уже отмечалось, создается путем оптического проектирования изображения, получаемого на экране проекционного кинескопа.

С точки зрения создания малогабаритной, негромоздкой оптической системы выгодно экран проекционного кинескопа делать как можно меньше. Однако при очень маленьком экране возникают трудности в получении достаточной разрешающей способности кинескопа. Электронный луч имеет конечный диаметр, и при малом экране трудно получить четко сфокусированный растр нашего стандарта в 625 строк. Вдоль каждой строки нужно также иметь возможность воспроизводить максимальное число деталей, составляющее около 800 элементов. Кроме того, проекционные кинескопы работают при повышенной мощности электронного луча и чрезмерно малый экран привел бы к недопустимому его перегреву.

Практика показывает, что диаметр экрана кинескопа около 12—18 *см* наиболее удобен в отношении компоновки трубки с проекционной оптикой и лучшего использования светового потока. При увеличении диаметра экрана кинескопа световой поток, посылаемый проекционной системой на большой экран, несколько увеличивается, но вся конструкция системы становится очень громоздкой, сложной в изготовлении, дорогостоящей.

Важным требованием, предъявляемым к проекционному кинескопу, является получение возможно большей яркости свечения его экрана. Обычно эта яркость в сотни раз превышает яркость кинескопа для непосредственного наблюдения. Большая яркость создается применением люминофоров с возможно большим коэффициентом светоотдачи и алюминированием экрана изнутри. Но самым главным мероприятием для эффективного увеличения яркости является весьма значительное (по сравнению с обычным кинескопом) увеличение анодного напряжения и тока луча.

В табл. 4 представлены некоторые данные, позволяющие сравнить два вида кинескопов — проекционных и обычных.

На рис. 20 представлены модуляционные характеристики проекционного (кривая *1*) и обычного (кривая *2*) кинескопов. Как видно из этих характеристик, проекционный кинескоп имеет в несколько раз больший ток электронного луча, вызванный в основном тем, что анодное напряжение у проекционного кинескопа в 3—5 раз больше, чем у обычного кинескопа. На рис. 21 приведены типичные графики зависимости яркости растра на экране проекционного кинескопа от питающего анодного напряжения.

Высокое анодное напряжение (доходящее у некоторых типов кинескопов до 80 *кв*) определяет особенности конструкции проекционного кинескопа. Его колба и арматура выполняются таким образом, чтобы исключить возможность пробоя высоким напряжением или возникновения короны (истечения заряда) на острых местах внутренних и внешних электродов. На рис. 22 в качестве примера представлены эскизы конструкции проекционных кинескопов.

Отечественный проекционный кинескоп 6ЛК1Б (рис. 22,*а*) предназначен для создания экрана средних размеров (около 1 $м^2$). Рабочее анодное напряжение для этой трубки составляет 25 *кв*. Кон-

Таблица 4

Параметры обычных и проекционных кинескопов

Вид кинескопа	Обозначение кинескопа	Рабочий диаметр (диагональ) экрана, *см*	Размеры изображения, *см*	Анодное напряжение, *кв*	Ток луча (на белом), *мка*	Яркость растра, *нт*
Обычные прямого наблюдения	31ЛК2Б	30	18×24	10	150	40
	35ЛК2Б	35	25×33	12	150	40
	43ЛК2Б	43	27,3×39,2	14	150	40
	53ЛК2Б	53	32,9×43,6	16	150	40
Проекционные	6ЛК1Б	6	3,6×4,8	25	200	5 000
	10ЛК2Б	10	5,4×7,2	20	150	1 000
	Philco (США)	10	6×8	20	500	3 000
	7NP4 (США)	17,8	9,6×12,7	80	6 000	100 000
	5TP4 (США)	12,5	7,5×10	25	1 000	9 000

струкция колбы и электродов защищает от возможности пробоя и возникновения короны. Характерным является наличие специального изолятора — стакана *9*, предохраняющего от пробоя высокого напряжения на отклоняющую систему.

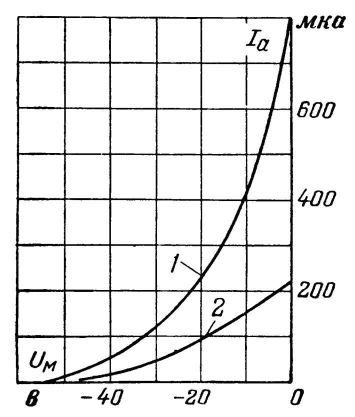


Рис. 20. Зависимость тока луча I_a от напряжения на модуляторе $U_м$.

1 — для проекционного кинескопа 6ЛК1Б при $U_a = 25$ *кв*; *2* — для обычного кинескопа 35ЛК2Б при $U_a = 12$ *кв*.

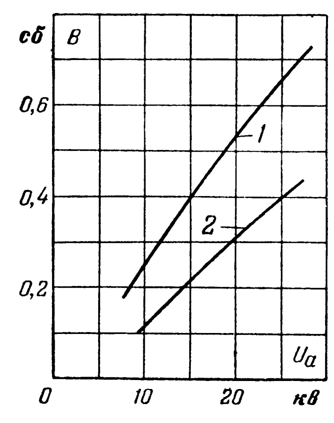


Рис. 21. Зависимость яркости экрана *B* проекционного кинескопа 6ЛК1Б от анодного напряжения U_a при I_a=200 *мка*.

1 — для кинескопа с алюминизированным экраном; *2* — для кинескопа с неалюминизированным экраном

Требования к качеству фокусировки электронного пучка в проекционном кинескопе очень высокие, так как размеры его экрана значительно меньше, чем у обычного кинескопа, и получить необходимую разрешающую способность здесь труднее. Кроме того, после проекции изображения на большой экран все дефекты этого изображения, в том числе дефокусировка в отдельных его участках, оказываются соответственно увеличенными, а поэтому и более замет-

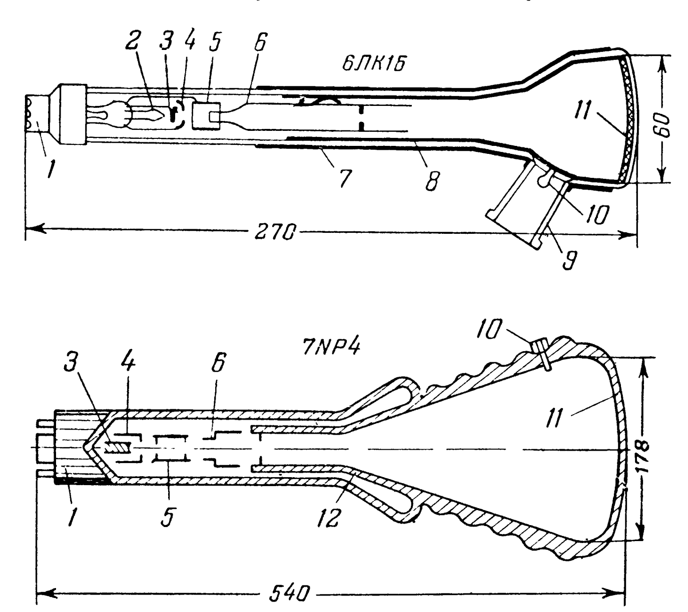


Рис. 22. Эскизы конструкции проекционных кинескопов 6ЛК1Б и 7NP4. *1* — цоколь; *2* — нить накала; *3* — катод; *4* — модулятор; *5* — ускоряющий электрод; *6* — фокусирующий электрод; *7* — внешнее покрытие; *8* — внутреннее покрытие; *9* — изоляционный стакан; *10* — анодный контакт; *11* — экран; *12* — внутренняя горловина.

ными, если их рассматривать с относительно небольшого расстояния. В связи с этим арматура электронной оптики внутри проекционной трубки оказывается достаточно сложной, с большим числом электродов, и изготовляется она с большой точностью.

В американской трубке 7NP4 (рис. 22, *б*), работающей при весьма высоком напряжении (80 *кв*) и служащей для создания большого экрана размерами 6,5×4,5=29,25 *м*², используется алюминизированный экран, имеющий в качестве люминофора смесь силиката цинка (желтое свечение) с сульфидом цинка (синее свечение). Эти две составляющие в совокупности дают свечение, близкое к белому. Для защиты стекла колбы от пробоя горловина трубки выполнена в виде двух стеклянных трубок, расположенных одна в другой. Гофрированная поверхность на раструбе колбы защищает отклоняющую систему от высокого напряжения, подаваемого на анод

ный контакт. Напряжение, подаваемое на фокусирующий электрод, тоже значительное (17 *кв*).

Во время бомбардировки электронным лучом люминофора выделяется довольно эффективное рентгеновское излучение, приводящее обычно к постепенному потемнению переднего стекла трубки. Для устранения этого явления в трубке 7NP4 (как и во многих других трубках) стекло для экрана изготовляется по специальной рецептуре, обеспечивающей стойкость к потемнению от рентгеновского излучения.

Мощность, рассеиваемая на экране трубки 7NP4, оказывается весьма большой (порядка 100—160 *вт*), что вызывает перегрев переднего стекла. Поэтому в рабочих условиях экран трубки непрерывно охлаждается струей воздуха, нагнетаемого специальным насосом.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ПРОЕКЦИОННАЯ СИСТЕМА С ОБЪЕКТИВОМ

10. СВЕТОСИЛА ОБЪЕКТИВА

Эффективность проекционной телевизионной оптики, т. е ее способность создать достаточно большое и яркое изображение, зависит в значительной степени от светосилы этой оптики. Рассмотрим подробнее, что такое светосила и какими параметрами она определяется.

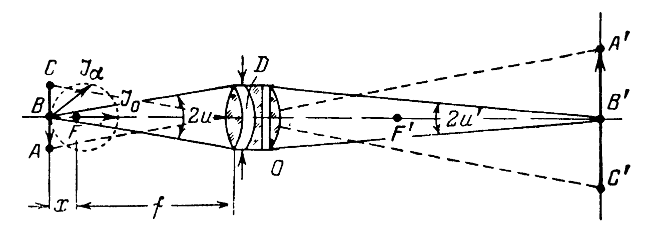


Рис. 23. Схема образования изображения линзовым объективом.

На рис. 23 дана схема образования изображения $A'B'C'$ плоского объекта ABC при помощи объектива O. Возьмем на объекте точку B, лежащую на оптической оси. Свет от этой точки, захватываемый объективом, лежит в пределах угла $2u$, называемого апертурным углом. Если точка B рассеивает свет по закону Ламберта (см. § 5), то диаграмма силы света будет окружностью (отмеченной на рис. 23 пунктиром), касающейся линии ABC в точке B. Как видно из рис. 23, внутри угла $2u$, если этот угол не очень большой, сила света меняется незначительно и равна приблизительно J_0. Из формулы (3) следует, что при коэффициенте увеличения $\beta = 10 \div 20$, что имеет место в проекционных телевизионных системах, величина $x = (0{,}1 \div 0{,}05) f$, т. е. $x \ll f$ и расстояние DB от объекта

до объектива можно принять примерно равным фокусному расстоянию, т. е.

$$DB \approx f.$$

При этом соотношении телесный угол, в котором находится свет, исходящий от точки B и захватываемый объективом, определится приблизительным выражением

$$\omega_{вх} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{f^2} = \frac{\pi}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2,$$

где D — диаметр объектива (точнее — его входного зрачка*).

Световой поток $F_{вх}$, проходящий из точки B через объектив, согласно формуле (11) определится следующим образом:

$$F_{вх} = J_0\omega_{вх} = J_0\frac{\pi}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2.$$

Иногда при светотехнических расчетах удобнее пользоваться не световым потоком, а яркостью. Имея в виду, что $J_0 = BS$, получим:

$$F_{вх} = BS\frac{\pi}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2, \qquad (20)$$

где S — площадка на объекте, а B — яркость этой площадки.

После прохождения через объектив часть света в нем теряется на поглощение и отражение в стеклах. Таким образом, прошедший через объектив световой поток $F_{вых}$ будет меньше $F_{вх}$, т. е.

$$F_{вых} = \tau F_{вх} = \tau J_0\frac{\pi}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2 = BS\tau\frac{\pi}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2, \qquad (21)$$

где τ — коэффициент пропускания света объективом.

Как видно из формулы (21), на величину выходного светового потока влияют три параметра объектива: коэффициент пропускания τ, диаметр входного отверстия D и фокусное расстояние f. Отношение D/f называется относительным отверстием объектива. Чем больше относительное отверстие, тем больший световой поток пройдет через объектив, тем ярче будет изображение или при той же яркости можно будет получить бóльшие размеры изображения.

Полной светосилой объектива является величина

$$A_{полн} = \tau\left(\frac{D}{f}\right)^2. \qquad (22)$$

Как видно из формулы (21), выходной световой поток пропорциона-

---

* Входной зрачок в сложном многолинзовом объективе обычно не равен диаметру первой линзы, так как диафрагмы и оправы, имеющиеся в объективе, обычно уменьшают действующий диаметр, который и называется диаметром входного зрачка.

лен полной светосиле. Квадрат относительного отверстия называется светосилой A и определяется следующим выражением:

$$A=\left(\frac{D}{f}\right)^2. \tag{23}$$

Из формулы (21) следует также, что для улучшения светотехнической эффективности объектива следует увеличивать относительное отверстие. Но при увеличении D (или уменьшении f) растут все виды аберраций [см., например, формулы (6), (7) и (8), где $h=D/2$]. Для их корректировки необходимо вводить дополнительно новые линзы в объектив, что уменьшает τ, усложняет и удорожает объектив.

В приведенной ранее табл. 3 были даны для иллюстрации параметры современных объективов, предназначенных для проекции кинофильмов и фотографирования. Как можно установить по данным этой таблицы, даже хороший проекционный объектив имеет очень низкий к. п. д. по использованию светового потока. Для иллюстрации этого приведем числовой пример.

Светящаяся площадка, например AC на рис. 23, рассеяние света которой подчиняется закону Ламберта, излучает полный световой поток в одну полусферу, причем $F_{\text{полн}}=\pi J_0$. К. п. д. объектива по световому потоку η определяется отношением прошедшего через объектив света к полному световому потоку, а именно

$$\eta=\frac{F_{\text{вых}}}{F_{\text{полн}}}. \tag{24}$$

Имея в виду формулу (21) и закон Ламберта, можно получить для к. п. д. следующее выражение:

$$\eta=\frac{\tau\frac{\pi}{4}J_0\left(\frac{D}{f}\right)^2}{\pi J_0}=\frac{\tau}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2=\frac{A_{\text{полн}}}{4}. \tag{25}$$

Взяв из таблицы $D/f=1:2$ и приняв $\tau\approx 0{,}8$, получим:

$$\eta=\frac{\tau}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2=\frac{0{,}8}{4}\left(\frac{1}{2}\right)^2=0{,}05=5\%.$$

Таким образом, из этого примера видно, что только незначительная часть светового потока, исходящая от элементов объекта, используется объективом для создания изображения.

11. ЯРКОСТЬ, СОЗДАВАЕМАЯ НА БОЛЬШОМ ЭКРАНЕ

Для определения яркости большого телевизионного экрана, создаваемой световым потоком $F_{\text{вых}}$, вышедшим из объектива и определяемым формулой (21), обратимся к рис. 24.

Объект AB, например, находящийся на экране проекционного кинескопа, проецируется объективом O на большой экран. Его ли-

нейные размеры на изображении $A'B'$ увеличены в β раз, что определяется выражением

$$(A'Б') = \beta (AB).$$

Площадь изображения S' маленькой площадки S при этом увеличена пропорционально квадрату коэффициента увеличения, а именно

$$S' = \beta^2 S. \tag{26}$$

Любая освещенная площадка S' на большом экране, являющаяся вторичным источником света, отражает падающий на нее свет.

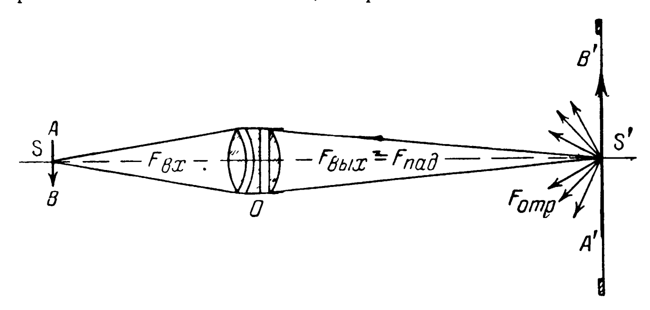


Рис. 24. Схема образования светового потока, отражаемого большим экраном.

Отраженный световой поток $F_{отр}$ связан с выходным или падающим на экран световым потоком через коэффициент отражения ρ следующим выражением:

$$F_{отр} = \rho F_{вых} = \rho F_{пад}. \tag{27}$$

Обычные киноэкраны, изготовленные из белого полотна, покрытого белой клеевой краской, отражают 75—85% падающего на них света, т. е. для таких экранов $F_{отр} = (0{,}75 \div 0{,}85) F_{пад}$. Будем считать, что отражение света от большого экрана подчиняется закону Ламберта:

$$J_\alpha = J_0 \cos \alpha.$$

Связь между величиной полного светового потока, отражаемого площадкой любого участка большого экрана, и силой света излучения, идущего в перпендикулярном к ней направлении, определяется выражением

$$F_{отр} = \pi J_0. \tag{28}$$

Из этого выражения, используя формулу (27), получим:

$$J_0 = \frac{F_{отр}}{\pi} = \frac{\rho F_{вых}}{\pi}.$$

Подставляя $F_{вых}$ из выражения (21), можем написать:

$$J_0 = \frac{\rho\tau}{4} \left(\frac{D}{f} \right)^2 SB,$$

где B — яркость экрана проекционного кинескопа, а с учетом соотношения (26) формула примет следующий вид:

$$J_0 = \frac{\rho\tau}{4} \left(\frac{D}{f} \right)^2 \frac{SB}{\beta^2}.$$

Отсюда яркость большого экрана B', определяемая как отношение силы света любого его участка к площади этого участка, определится выражением:

$$B' = \frac{J_0}{S'} = \frac{1}{4} \frac{\rho\tau}{\beta^2} \left(\frac{D}{f} \right)^2 B. \qquad (29)$$

В дальнейшем мы воспользуемся этой формулой в примерах расчета проекционных телевизионных систем.

12. РАЗМЕРЫ БОЛЬШОГО ЭКРАНА

Размеры большого телевизионного экрана определяются помещением, в котором устанавливается проекционный телевизор, и предполагаемым максимальным числом зрителей. Если помещение небольшое, то черезмерно большой экран будет неудобен для наблюдения. Практика кино показывает, что наиболее удобное расстояние $R_{\text{опт}}$ от экрана до наблюдателя должно составлять 3—4 высоты экрана $h_э$ (рис. 25) при отношении $l_э/h_э = 4/3$.

Если проекционный телевизор предназначается для эксплуатации в условиях обычной жилой квартиры для 10—15 зрителей, где

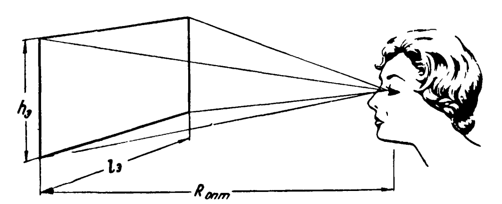


Рис. 25. Оптимальное расстояние от телевизионного экрана до зрителя.

для жилой комнаты средней величины оптимальное расстояние от экрана до зрителя составляет 3—4 *м*, то высота экрана должна составлять примерно 1 *м*. Учитывая формат кадра, получаем следующие приемлемые размеры большого телевизионного экрана для жилой квартиры: $h_э = 90$ *см*; $l_э = 120$ *см*, $p = l_э/h_э = 120/90 = 4/3$; площадь экрана $S_э = h_э \times l_э = 90 \times 120$ *см* $= 10\,800$ *см*$^2 = 1$ *м*^{2} Такой экран удовлетворил бы любого зрителя, смотрящего телевидение в домашних условиях.

У проекционной телевизионной установки, предназначенной для обслуживания большого числа зрителей, находящихся в общественном месте (клубе, кинотеатре, на выставке и пр.), большой телевизионный экран должен по размерам приближаться к киноэкрану. Техника сегодняшнего дня позволяет создать проекционную телевизионную систему с экраном, имеющим размеры в несколько десятков квадратных метров.

13. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОЕКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ОБЪЕКТИВОМ

Наши дальнейшие расчеты будут основываться в качестве примера на создании экрана размерами $h_э \times l_э = 90 \times 120$ *см*.

Выберем хороший проекционный объектив П-5 с фокусным расстоянием $f \approx 9$ *см* и относительным отверстием $D/f = 1/2$ (табл. 3). Размеры экрана проекционного кинескопа выберем по табл. 4 (для кинескопа 5ТР4):

$$h_к \times l_к = 7{,}5 \times 10 \text{ см}:$$

$$d_к = \sqrt{h_к^2 + l_к^2} = \sqrt{7{,}5^2 + 10^2} = 12{,}5 \text{ см}.$$

Таким образом, требующийся коэффициент увеличения

$$\beta = \frac{h_э}{h_к} = \frac{90}{7{,}5} = 12.$$

Коэффициент отражения света от большого экрана примем $\rho = 0{,}8$, а коэффициент пропускания объектива $\tau = 0{,}8$. Подставив все цифровые данные в формулу (29), получим соотношение между яркостью на экране кинескопа B и яркостью большого экрана B':

$$B' = \frac{0{,}8 \cdot 0{,}8}{4 \cdot 12^2}\left(\frac{1}{2}\right)^2 B = 2{,}8 \cdot 10^{-4} B; \; B = 3{,}6 \cdot 10^3 B'.$$

Из полученного соотношения видно, что в нашем примере яркость B' большого экрана оказывается примерно в 3 500 раз меньше яркости экрана проекционного кинескопа.

Удовлетворительная яркость большого экрана не должна быть ниже 10 *нт*, что соответствует минимальной яркости киноэкрана (см. § 4). Примем $B' = 10$ *нт*. Тогда необходимая яркость кинескопа должна составлять

$$B = 3{,}6 \cdot 10^3 B' = 3{,}6 \cdot 10^3 \cdot 10 \text{ нт} = 3{,}6 \cdot 10^4 \text{ нт} = 3{,}6 \text{ сб}.$$

Связь между силой света, излучаемого экраном кинескопа, и мощностью электронного луча, как отмечалось, определяется соотношением

$$J = kI_а U_а.$$

Приняв для проекционного кинескопа с алюминизированным экраном $k = 4$ *св/вт*, $I_{а.макс} = 400$ *мка* и площадь экрана $S_к = h_к \times l_к = 7{,}5 \times 10$ *см* $= 75$ *см*^{2}, вычислим необходимую величину анодного напряжения, использовав формулу

$$B = \frac{J}{S_к} = \frac{kI_а U_а}{S_к}.$$

Величина анодного напряжения

$$U_а = \frac{BS_к}{kI_а} = \frac{3{,}6 \cdot 75}{4 \cdot 400 \cdot 10^{-6}} \approx 170\,000 \text{ в}$$

Разумеется, такое громадное напряжение является совершенно неприемлемым, в особенности для домашних проекционных установок.

Обратившись к формуле (29), видим, что снижение требуемой яркости проекционного кинескопа можно получить в первую очередь применением объективов с большим относительным отверстием. Например, увеличение D/f вдвое приведет к четырехкратному уменьшению требуемой яркости, так как D/f входит в формулу в квадрате. Это в свою очередь позволяет в 4 раза уменьшить необходимую величину анодного напряжения кинескопа. Так, если в нашем примере взять $D/f=1:1$ (вместо 1 : 2), то при прочих равных условиях анодное напряжение составит:

$$U_а = \frac{170\,000}{4} = 42\,500 \text{ } в.$$

Из табл. 3 видно, что анодное напряжение такого порядка (40—80 *кв*) применяется для создания проекционых систем театрального типа (с размерами экрана 20—30 $м^2$). Однако для домашнего телевидения подобные системы совершенно не подходят по следующим причинам: во-первых, объектив с относительным отверстием 1 : 1 оказывается дорогим и сложным устройством; во-вторых, анодное напряжение 40—80 *кв* трудно получить и оно опасно в домашних условиях; в-третьих, проекционный кинескоп, рассчитанный на работу с таким анодным напряжением, оказывается сложным и дорогим электронным прибором, имеющим к тому же небольшой срок службы.

Для получения большого экрана размером примерно в 1 $м^2$ имеется отечественный кинескоп 6ЛК1Б, имеющий размеры экрана $S_к=h_к \times l_к=3{,}6\times 4{,}8$ *см*$=17{,}3$ $см^2$. Для этого кинескопа $U_а=25\,000$ *в*, $I_{а\ макс}=200$ *мка* и $k=4$ *св/вт*.

Используя сравнительно доступный объектив с относительным отверстием $D/f=1:2$ и коэффициентом пропускания $\tau=0{,}8$, подсчитаем размеры большого экрана, которые можно получить, используя кинескоп 6ЛК1Б в типовом режиме.

Яркость экрана кинескопа

$$B = \frac{kI_аU_а}{S_к} = \frac{4\cdot 200\cdot 10^{-6}\cdot 25\cdot 10^3}{17{,}3} = 1{,}15 \text{ } сб$$

Коэффициент увеличения при $B' = 10$ *нт* не превышает

$$\beta = \frac{\sqrt{\rho\tau}}{2}\frac{D}{f}\sqrt{\frac{B}{B'}} = \frac{\sqrt{0{,}8\cdot 0{,}8}}{2}\cdot\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1{,}15\cdot 10^4}{10}} \approx 7.$$

Размеры большого экрана получатся:

$$h_э = \beta h_к = 7\cdot 3{,}6 = 25{,}2 \text{ } см;$$

$$l_э = \beta l_к = 7\cdot 4{,}8 = 33{,}5 \text{ } см.$$

Как видим, размеры получились небольшие. Обычный кинескоп прямого наблюдения 43ЛК2Б, используемый в телевизорах «Знамя», «Рубин» и др., непосредственно дает примерно такие же размеры изображения (27×36 *см*). Однако кинескоп 43ЛК2Б работает при существенно меньшем анодном напряжении ($U_а=12$ *кв*), чем

система с проекционным кинескопом 6ЛК1Б. Далее, яркость экрана обычного кинескопа примерно в 4 раза больше (около 40 *нт*). И, наконец, кинескоп 43ЛК2Б не требует применения объектива — этого сложного, дорогого прибора. Если к этому еще прибавить, что срок службы проекционного кинескопа меньше, чем у обычного, то становится совершенно ясно, что рассмотренная нами выше система с проекционным кинескопом и объективом оказывается значительно хуже и сложнее, чем телевизор с кинескопом прямого наблюдения.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ПРОЕКЦИОННАЯ СИСТЕМА СО СФЕРИЧЕСКИМ ЗЕРКАЛОМ

14. ПРЕИМУЩЕСТВА ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ОПТИКИ

На основании вышеприведенного примера можно было бы прийти к заключению о бесперспективности проекционных телевизионных систем с экраном умеренных размеров, об их техническом и экономическом несовершенстве по сравнению с обычными телевизорами, имеющими большие кинескопы. Такое положение вещей действительно имело место примерно до 1945 г. В дальнейшем были найдены сравнительно простые и эффективные способы улучшения работы проекционных телевизионных систем, существенного повышения их к. п. д., создания специальных светосильных больших экранов.

В настоящее время телевизионные проекционные системы получили значительное развитие, позволяющее им успешно конкурировать с телевизорами, имеющими обычные кинескопы.

В первую очередь резкое увеличение эффективности проекционных систем достигнуто применением вместо линзового объектива специальной отражательной оптики — так называемого зеркально-линзового объектива Шмидта. Эта оптика позволяет сравнительно простыми средствами значительно увеличить относительное отверстие. Оно доходит до 1 : 0,8, а в некоторых образцах составляет даже 1 : 0,6.

Основой оптики Шмидта, уже давно использующейся в астрономических телескопах, является сферическое зеркало. Главным преимуществом сферического зеркала по сравнению с простой линзой является значительно меньшая величина его сферической аберрации (сравнение величин сферической аберрации дано в табл. 2). Важным достоинством сферического зеркала является также то, что в нем можно весьма простым путем почти полностью устранить аберрации косых пучков — астигматизм, кому, дисторсию.

15. ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СФЕРИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА

Чтобы лучше понять принцип работы отражательной проекционной оптики, познакомимся с элементарной теорией работы сферического зеркала.

Вогнутое сферическое зеркало дает увеличение изображения $M'N'$ (рис. 26,*а*) объекта MN, если этот обьект помещается между

центром кривизны зеркала O и фокусом F*. Точка A, лежащая на пересечении зеркала и оптической оси AO, называется вершиной зеркала. Фокус F находится точно посередине между вершиной A

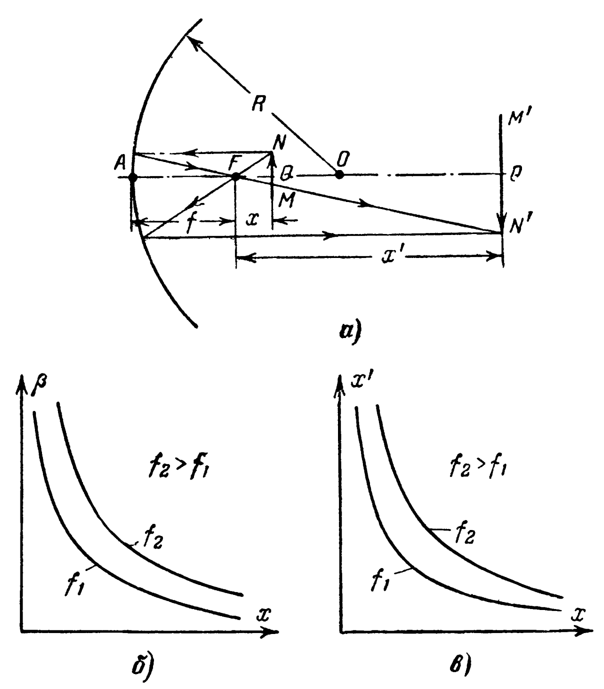


Рис. 26. Элементарная оптика сферического зеркала.
а — схема геометрического построения изображения; *б* — зависимость коэффициента увеличения β от расстояния до объекта x; *в* — зависимость расстояния до изображения x' от расстояния до объекта x.

и центром кривизны O, т. е. фокусное расстояние f определяется выражением

$$f = AF = \frac{AO}{2} = \frac{R}{2}, \tag{30}$$

где R — радиус кривизны зеркала.

Зависимость коэффициента увеличения β зеркала от расстояния x объекта до фокуса и от фокусного расстояния имеет вид:

$$\beta = \frac{M'N'}{MN} = \frac{f}{x} = \frac{R}{2x}. \tag{31}$$

---

* Если объект находится правее точки O, то изображение будет уменьшенным. При расположении объекта между точками F и A изображение будет мнимым.

Расстояние x' от получаемого изображения до фокуса зеркала определяется следующей формулой:

$$x' = \beta f = \frac{f^2}{x} = \frac{R^2}{4x}. \qquad (32)$$

На рис. 26,*б* и *в* даны графики зависимости β от x и x' от x для двух значений фокусного расстояния f_1 и f_2, построенные на основании формул (31) и (32). Как следует из этих графиков, по мере приближения объекта к точке фокуса размеры изображения становятся все больше и больше, а положение экрана, где можно наблюдать это изображение, отодвигается все дальше и дальше.

Как и линза, сферическое зеркало обладает сферической аберрацией. Это явление, приводящее, как отмечалось, к дефокусировке

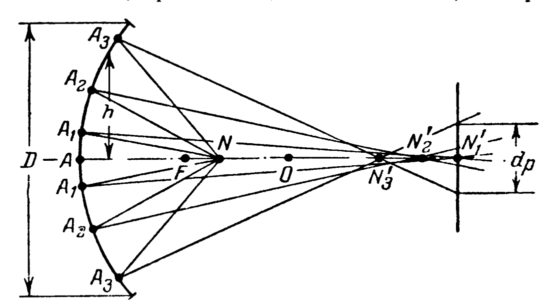


Рис. 27. Ход лучей при сферической аберрации сферического зеркала.

и снижению контрастности и четкости изображения, поясняется на рис. 27. Лучи света, исходящие из светящейся точки на объекте (для простоты эта точка N на рис. 27 взята расположенной на оптической оси), после отражения от зеркала в точках A_1, A_2, $A_3, \ldots$ не сходятся снова в одной точке изображения. Чем больше действующий радиус зеркала h, тем больше сферическая аберрация. Таким образом, изображением точки N на объекте будет не точка N_1', а светящийся кружок рассеяния с диаметром d_p (ср. с рис. 6).

Мерой сферической аберрации может служить диаметр этого кружка. Оказывается, что сферическая аберрация зеркала примерно пропорциональна кубу рабочего радиуса и обратно пропорциональна квадрату фокусного расстояния:

$$d_p = a\frac{h^3}{f^2}. \qquad (33$$

Полезно еще раз подчеркнуть, что величина коэффициента a для сферического зеркала значительно меньше, чем для любой простой линзы (табл. 2).

Сферическое зеркало, как оптический элемент, кроме основной — главной — оптической оси, имеет еще так называемые побочные оптические оси. На рис. 28 прямая AO является главной оптической осью. Любая другая прямая A_1O, проходящая через центр кривизны O, является побочной оптической осью Эта побочная ось пересекает в побочной вершине A_1 зеркало под прямым углом. Точ-

ка F_1, лежащая посередине между A_1 и O, является побочным фокусом. Изображение точки N_1, лежащей на побочной оси, оказывается расположенным также на побочной оси.

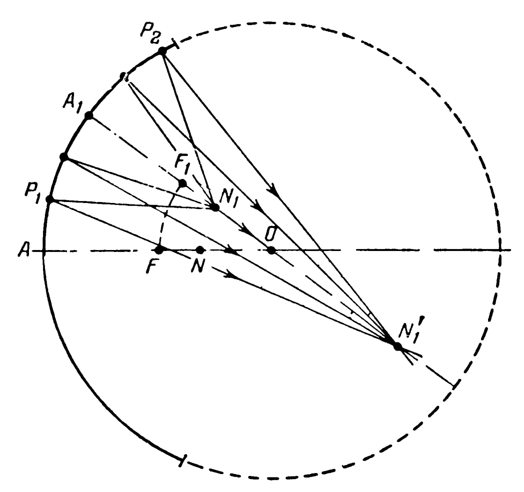


Рис. 28. Схема образования побочных оптических осей у сферического зеркала.

В отличие от сферического зеркала линза побочных осей не имеет, так как любая прямая AA', пересекающая линзу под углом к оптической оси ZZ', не будет перпендикулярна к сферическим поверхностям линзы, т. е. не будет осью симметрии (рис. 7).

16. КОРРЕКЦИЯ АБЕРРАЦИЙ КОСЫХ ПУЧКОВ

Указанное свойство сферического зеркала — наличие побочных оптических осей позволяет простым способом избавиться от аберраций косых пучков.

Аберрации косых пучков возникают при образовании изображения точки N, лежащей вне главной оптической оси (рис. 29). Проведем через точку N и центр кривизны O побочную оптическую ось A_1O. Изображение точки N должно находиться на этой оси (точка N'). Предположим, что световой поток, исходящий из точки N и отраженный от зеркала, проходит через ограничительную диафрагму XY с круглым отверстием (так называемый выходной зрачок). Если выходной зрачок помещен, например, правее (или левее) центра кривизны O, то он нарушает симметрию конуса отраженных лучей M_1NM_2. Пучок становится косым, его несимметричное добавление, заштрихованное на рис. 29, вызывает на экране появление фигуры рассеяния $N_1'N_2'$, свойственной астигматизму и коме.

Если же выходной зрачок поместить точно в плоскости, проходящей через центр кривизны зеркала (точка O), то, как это видно из рис. 29, пучок лучей отраженного света, наклоненный к главной оптической оси, будет симметричным, осью его симметрии будет яв-

ляться побочная оптическая ось. В этом случае появление в точке изображения фигуры рассеяния, соответствующей астигматизму и коме, невозможно.

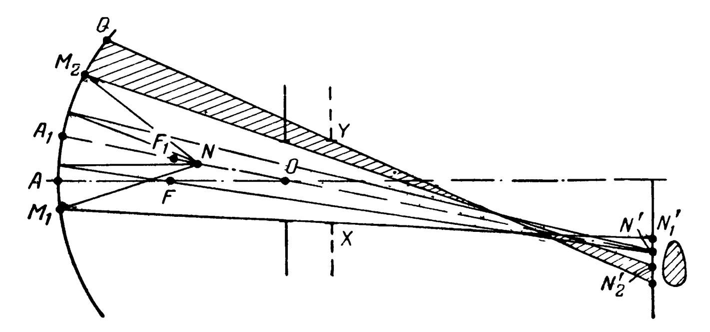


Рис. 29. Схема возникновения аберраций косых пучков при неправильной установке диафрагмы выходного зрачка.

Таким образом, расположение ограничивающей диафрагмы в плоскости, проходящей через центр кривизны зеркала, просто и надежно устраняет аберрации косых пучков.

Отраженный пучок световых лучей может также потерять симметрию за счет ограниченной величины диаметра D «чашки» зеркала (рис. 30). Для пучка, отражающегося от поверхности QPA_1AT, участок зеркала PQ отсутствует. Поэтому в отраженном пучке лучей отсутствует световой поток, на рис. 30 показанный штриховкой. Таким образом, побочная оптическая ось A_1O не будет для этого пучка являться осью симметрии и изображение точки N будет несимметричной фигурой рассеяния, т. е. в этом случае появится своеобразная аберрация косых пучков. Для устранения этого явления нужно, как следует из рис. 30, уменьшить диаметр d_1 выходного зрачка, т. е. взять $d<d_1$.

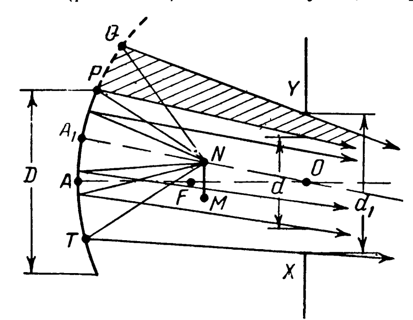


Рис. 30. Ход лучей при возникновении аберраций косых пучков за счет недостаточности диаметра D „чашки" сферического зеркала.

Величина диаметра выходного зрачка d, при которой не наблюдается описанного явления, определяется диаметром «чашки» зеркала D, диаметром сферы зеркала $Д=2R$, размером объекта $2l=MN$ и коэффициентом увеличения. При $\beta>5$ из геометрических соотношений на рис. 30 можно получить следующую формулу (ее громоздкий вывод не приводится):

$$d \leqslant D - 2l\sqrt{1-\left(\frac{D}{Д}\right)^2} \qquad (34)$$

Обычно $D/Д < 0,5$, тогда при $\beta > 5$ и $D/Д < 0,5$

$$d \approx D - 2l. \qquad (35)$$

В нашем случае величина $2l$ соответствует диаметру экрана проекционного кинескопа. Таким образом, согласно формуле (35), диаметр выходного отверстия должен быть меньше диаметра чашки зеркала приблизительно на величину диаметра кинескопа.

Так же, как и у линз, у сферического зеркала существует еще одна аберрация косых пучков, а именно кривизна поля изображения. Появление этой аберрации у сферического зеркала поясняется на рис. 31. На этом рисунке объект NN_1N_2 представляет собой отрезок прямой линии. Для определения места точек изображения этого объекта воспользуемся формулой (32):

$$x' = \frac{f^2}{x}.$$

Из рис. 31 видно, что расстояние x от точки объекта N до побочного фокуса F будет уменьшаться по мере перехода от точки N к точке N_2, т. е. в точке N_1 расстояние $x_1 < x$, а в точке N_2 расстояние $x_2 = 0$. Вследствие этого расстояние до изображения $x' =$

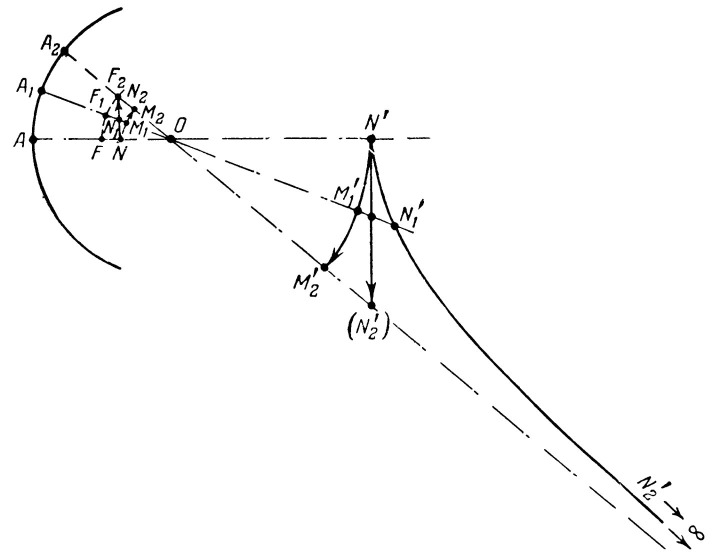


Рис. 31. Кривизна поля изображения сферического зеркала.

$= FN'$ согласно формуле (32) по мере уменьшения x будет увеличиваться и, в частности, на побочной оси A_2O, для которой $x_2 = 0$, расстояние x_2 будет стремиться к бесконечности. На рис. 31 представлено изображение $N'N_1'N_2'$. Точка N_2' уходит в бесконечность а все изображение приобретает характерный изгиб.

Диафрагма с круглым отверстием, установленная в плоскости центра кривизны, ликвидируя кому и астигматизм, не снимает этой аберрации косых пучков — кривизны поля изображения. Кривизну поля изображения можно скорректировать подбором кривизны самого объекта. Например, если объект представляет собой дугу окружности NM_2 с центром кривизны, совпадающим с центром O кривизны зеркала, то расстояние $x=FM$ для любой побочной оптической оси будет постоянным. Поэтому будет постоянной и величина $x'=FM'=f^2/x$, т. е. изображение в этом случае тоже будет дугой окружности $N'M_1'M_2'$ с центром кривизны также в точке O. Очевидно, что существует промежуточная форма объекта — между NN_2 и NM_2, образующая совершенно прямое изображение N' (N_2').

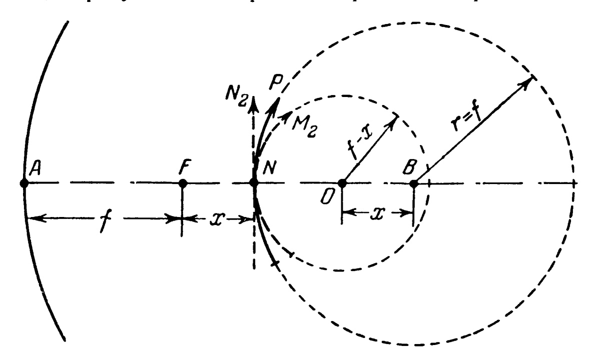


Рис. 32. Схема графического построения правильной формы объекта NP, исключающей кривизну поля изображения,

Имея в виду, что в нашем случае объектом является экран проекционного кинескопа, можно правильным подбором формы переднего стекла трубки скорректировать кривизну поля изображения. Расчеты показывают, что изображение без заметной кривизны можно получить, если объект представляет дугу окружности NP (рис. 32) с радиусом, равным фокусному расстоянию $(r=f)$, и с центром в точке B, отстоящим от точки O вправо на величину x. Как видно из рисунка, этот объект расположен между плоским объектом и сферическим с центром кривизны в центре кривизны зеркала.

Таким образом, при помощи диафрагмы, помещенной в плоскость центра кривизны зеркала, и приданием экрану кинескопа нужной выпуклости можно практически устранить все аберрации косых пучков — кому, астигматизм, дисторсию и кривизну поля.

Важное положительное обстоятельство — отсутствие у сферического зеркала, как у всякого отражающего свет оптического элемента, хроматической аберрации. Эта аберрация характерна только для линз — элементов, работающих на пропускание света.

Для получения достаточно хорошей и простой проекционной системы следует, таким образом, скорректировать только сферическую аберрацию зеркала. Задача упрощается тем обстоятельством, что эта аберрация у зеркала в десятки раз меньше, чем у линзы.

17. КОРРЕКЦИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ

Коррекция сферической аберрации сферического зеркала достигается при помощи прозрачной (стеклянной, плексигласовой) пластины специального профиля. Чтобы понять идею такой коррекции,

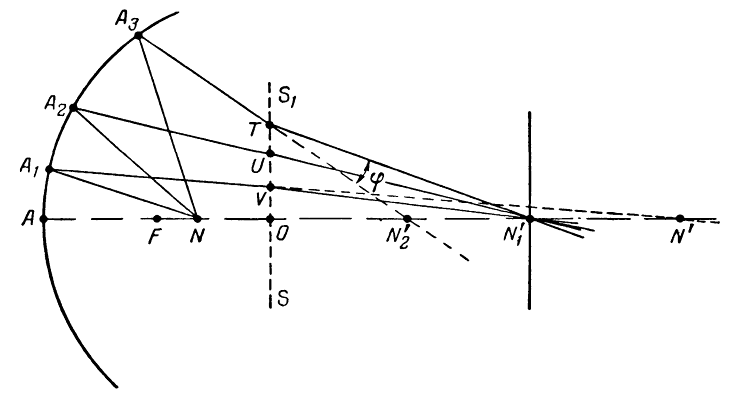


Рис. 33. Ход лучей при коррекции сферической аберрации сферического зеркала.

обратимся к рис. 33. Чем дальше отраженные лучи света отстоят от оптической оси AO, тем ближе к зеркалу пересекают они эту ось. Лучи, проходящие около оптической оси, называются параксиальными. Те лучи, которые отражаются от зеркала на некотором отдалении от оптической оси, назовем периферическими.

Прозрачная линза SS_1, помещаемая на пути лучей, отраженных от зеркала, и служащая для коррекции сферической аберрации, должна действовать так, чтобы отодвигать от зеркала место пересечения с осью периферических лучей и приближать место пересечения с осью параксиальных лучей. Таким образом, каждый отраженный луч, проходя через корректирующую линзу, претерпевает дополнительное преломление, причем угол преломления φ различен для различных лучей.

Рис. 34. Работа оптической призмы.

Для выяснения необходимой формы поверхности корректирующей линзы обратимся к преломляющим свойствам прозрачной призмы *. Луч света, падающий на прозрачную призму, испытывает двухкратное преломление на ее плоскостях (в точках α и β на рис. 34). Полный угол преломления φ определяется следующей формулой:

$$\varphi \approx \theta (n - 1), \tag{36}$$

* Призма (в оптике)— прозрачное тело, ограниченное двумя плоскостями, пересекающимися под некоторым углом θ.

где θ — угол при вершине призмы, а n — коэффициент преломления ее материала.

Весьма существенно отметить, что луч света после выхода из призмы всегда отклоняется к ее расширяющейся части *АБ*, т. е. в другую сторону от ее вершины *В*. Имея в виду это правило, легко пояснить работу корректирующей линзы SS_1 на рис. 33. Рассматривая этот рисунок, можно заметить, что периферийные лучи преломляются вверх (в точке *T*), а параксиальные вниз (в точке *V*) от оптической оси. Таким образом, имея в виду вышеуказанное

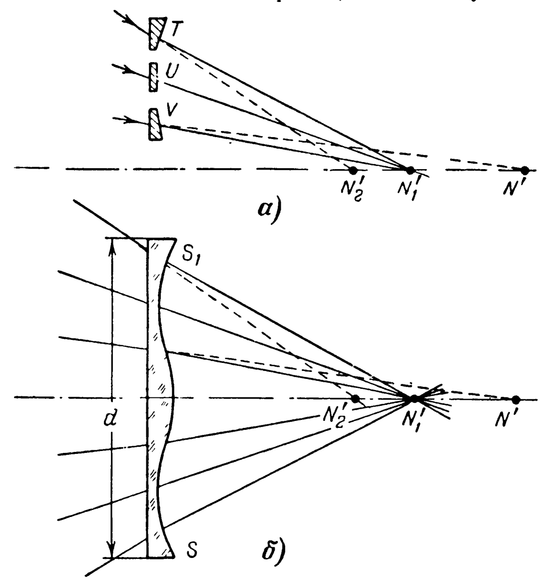


Рис. 35. Образование профиля корректирующей пластины.
а — расположение элементарных призм; *б* — профиль корректирующей линзы.

правило для призмы и учитывая, что угол отклонения φ примерно пропорционален углу призмы θ, мы можем пунктир SS_1 заменить элементарными призмами (рис. 35,*а*). Примерный вид полного профиля корректирующей линзы, представленный в виде соединения таких элементарных призм, изображен на рис. 35,*б*.

Так как сферическое зеркало и выходной зрачок являются системой, имеющей ось симметрии — оптическую ось *AO* (рис. 33), корректирующая линза должна являться, очевидно, также телом вращения — круглой пластиной с осью симметрии, совпадающей с главной оптической осью *AO*. Для простоты расчетов и изготовления корректирующей линзы одна ее поверхность является плоскостью (на рис. 35,*б* левая поверхность), другая поверхность имеет сложный асферический профиль. Такая корректирующая асферическая линза уже давно применяется в астрономических телескопах и носит название (по имени ее изобретателя) линзы Шмидта. Послед-

нее время линза Шмидта с успехом используется в проекционных телевизионных системах.

Линзу Шмидта, корректирующую сферическую аберрацию, обычно помещают в плоскость выходного зрачка (рис. 36). В этом случае сама корректирующая линза является выходным зрачком, а ее диаметр определяется выражением (35).

В проекционных телевизионных устройствах, как уже отмечалось, у вершины сферического зеркала (точка A на рис. 36) делается круглое отверстие с диаметром C_1C_2, примерно равным диаметру экрана кинескопа. Это отверстие улучшает контрастность изображения, так как без него некоторая часть световых лучей, исходящих из светящихся точек экрана кинескопа, может отражаться от центральной части сферического зеркала и попадать обратно на экран

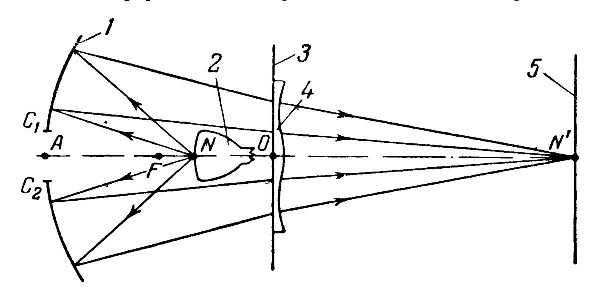


Рис. 36. Оптическая схема проекционной телевизионной оптики со сферическим зеркалом и корректирующей линзой. *1* — сферическое зеркало; *2* — кинескоп; *3* — диафрагма выходного зрачка; *4* — корректирующая линза; *5* — экран.

кинескопа (рис. 37). Эта часть лучей образует паразитную подсветку темных деталей изображения; изображение покрывается светлой вуалью, в результате чего контрастность $\beta = B_{\text{макс}}/B_{\text{мин}}$ снижается.

Таким образом, отверстие около вершины зеркала улучшает контрастность, но надо иметь в виду, что при этом снижается действующая величина относительного отверстия. Поэтому величина диаметра отверстия, примерно равная диаметру экрана кинескопа, является компромиссом между увеличением контрастности и уменьшением относительного отверстия.

Следует отметить, что корректирующая линза, ликвидируя сферическую аберрацию сферического зеркала, сама неизбежно вводит новые аберрации косых пучков (кому, астигматизм). В самом деле, так как точка объекта M (рис. 38) лежит на побочной оптической оси A_1O, которая не будет являться осью симметрии для корректирующей линзы (ср. с рис. 7), то в этом случае линза Шмидта создает аберрации косых пучков. Кроме того, линза внесет также и хроматическую аберрацию. На практике, однако, оказывается, что при правильном расчете формы линзы, надлежащем выборе ее толщины и коэффициента преломления ее материала эти вновь возникающие аберрации оказываются в допустимых нормах.

Асферическая линза Шмидта, имеющая довольно сложный профиль, должна быть изготовлена с весьма высокой степенью точности. Шлифовка стекла была бы чрезвычайно сложной работой и отдельные экземпляры линз были бы весьма дорогими. При массовом

выпуске, в нашем случае для проекционных телевизоров, такой метод изготовления корректирующих линз не подходит. Выход был найден в методе штамповки корректирующих линз из прозрачной пластмассы (например, из органического стекла). Плоские листы органического стекла нужной толщины разогреваются горячим паром для придания листу необходимой мягкости, а затем штампуются на станке, имеющем матрицу и пуансон необходимой конфигурации. После охлаждения изготовленные таким образом линзы проверяются и отбраковываются на специальном оптическом стенде. Метод штамповки корректирующих линз обеспечивает массовость и сравнительно невысокую стоимость их производства.

Подведем итоги. Проекционная оптическая система, состоящая из сферического зеркала и корректирующей линзы Шмидта, распо-

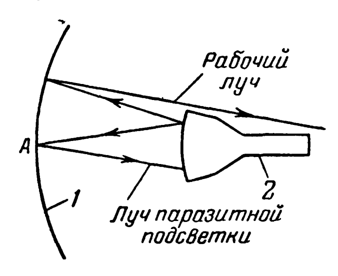


Рис 37. Снижение контрастности изображения на экране кинескопа за счет паразитной подсветки.

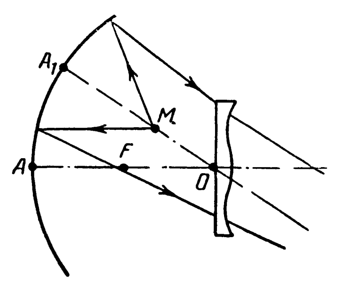


Рис. 38. Косой пучок корректирующей линзы.

ложенной в центре кривизны зеркала, обладает существенными преимуществами по сравнению с системой, использующей линзовый объектив. К ним относятся: значительно большее, чем у хорошего объектива, относительное отверстие, доходящее в некоторых образцах до 1 : 0,6; малое количество элементов в системе (только два — сферическое зеркало и асферическая корректирующая линза), а отсюда — малые потери на отражение и преломление света; простота конструкции, простота коррекции различных аберраций; доступность массового производства.

Почему же у оптики Шмидта такие преимущества перед хорошим линзовым объективом и почему, в таком случае, она не может быть вообще заменой линзового объектива?

Дело заключается в том, что в телевизионных проекционных системах оптика Шмидта так рассчитана, что она способна хорошо работать только при строго фиксированном взаимном положении всех ее элементов — сферического зеркала, корректирующей линзы, объекта (экрана проекционного кинескопа), большого экрана. Стоит только сколько-нубудь заметно изменить положение любого из этих четырех элементов проекционной оптики, как сразу же появятся недопустимые аберрации всех видов и сопутствующие им искажения изображения.

Хороший же линзовый объектив, спроектированный для работы в широком диапазоне расстояний объекта до изображения, является универсальным оптическим прибором, качество работы которого практически не меняется при изменении этих расстояний.

18. ПРИМЕР РАСЧЕТА ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПРОЕКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ОПТИКОЙ ШМИДТА

Чтобы более наглядно показать преимущества и эффективность оптики Шмидта по сравнению с проекционной системой, содержащей линзовый объектив, обратимся к числовому примеру, сохранив из примера системы с объективом (см. § 13) следующие данные: размеры большого экрана $h_э \times l_э = 90 \times 120$ *см*; яркость большого экрана $B' = 10$ *нт*; размеры экрана кинескопа $h_к \times l_к = 7{,}5 \times 10$ *см*; коэффициент светоотдачи $k = 4$ *св/вт*; ток луча $I_{а\ макс} = 400$ *мка.*

Приняв для оптики Шмидта относительное отверстие $D/f = 1 : 0{,}8$, коэффициент отражения света от большого экрана $\rho = 0{,}8$ и коэффициент потерь в оптике (на отражение от сферического зеркала и прохождение через корректирующую линзу) $\tau = 0{,}9$, определим по формуле (29) необходимую яркость экрана проекционного кинескопа:

$$B = \frac{4\beta^2}{\rho\tau}\left(\frac{f}{D}\right)^2 B' = \frac{4\cdot(12)^2}{0{,}8\cdot 0{,}9}(0{,}8)^2\cdot 10 = 5\,260\ нт = 0{,}526\ сб.$$

т. е. в $3{,}6/0{,}256 = 7$ раз меньше, чем в примере с линзовым объективом. Таким образом, и анодное напряжение может быть взято в 7 раз меньше:

$$U_а = 170\,000\,\frac{0{,}526}{3{,}6} = 25\ кв,$$

что вполне допустимо применительно к заводским параметрам проекционных кинескопов.

Этот пример дает обнадеживающие результаты и показывает возможность технического осуществления довольно большого телевизионного экрана (порядка 1 *м*²). Однако зрительное впечатление получается неполным в связи с тем, что яркость большого экрана $B' = 10$ *нт* выбрана на нижнем допустимом пределе. Яркость хорошего киноэкрана обычно в 2—3 раза выше этой цифры. Кроме того, следует учитывать, что кинескопы, проработав некоторое время, несколько снижают свою яркость.

Таким образом, по вышеприведенным соображениям желательно иметь двух-трехкратный запас яркости, т. е. следует все-таки ориентироваться на яркость большого экрана $B' = 20$—30 *нт*. Повышение с этой целью анодного напряжения и тока луча кинескопа, как указывалось ранее, нежелательно. Использование оптики Шмидта с относительным отверстием лучше чем 1 : 0,8 сильно усложнит систему и повысит ее стоимость.

Выход из создавшихся затруднений был найден в использовании специальных направленных экранов.

ГЛАВА ПЯТАЯ

НАПРАВЛЕННЫЕ ЭКРАНЫ

19. РАССЕЯННОЕ И НАПРАВЛЕННОЕ ОТРАЖЕНИЕ (ПРОХОЖДЕНИЕ) СВЕТА

В зависимости от структуры поверхности большого экрана свет, исходящий из проекционной оптики и попадающий на него, может отражаться от экрана по-разному. Следует различать два

вида отражения: рассеянное и направленное. Промежуточный между ними вид назовем направленно-рассеянным.

Случай рассеянного (диффузного) отражения иллюстрируется на рис. 39,*а*. В случае идеального рассеяния отраженный свет разбрасывается во все стороны с одинаковой яркостью, не зависящей от направления падающих лучей. В этом случае поверхность, на которой находятся концы векторов яркости, является сферой с центром в точке *А* (в эту точку приходит пучок падающего света). Очевидно, что в случае идеального рассеяния имеет место закон

Векторы яркости отраженного света
А
Лучи падающего света
а)

Лучи отраженного света
α_0
А
$\alpha_п$
Лучи падающего света
б)

Центральный вектор отраженного света
А
α_0
$\alpha_п$
Лучи падающего света
в)

Рис. 39. Виды отражения света от экрана.
а — рассеянное; *б* — направленное; *в* — направленно-рассеянное.

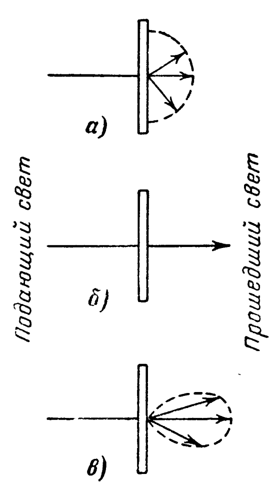


Рис. 40. Виды пропускания света экраном.
а — рассеянное; *б* — направленное; *в* — направленно-рассеянное.

Ламберта (см. § 5). К таким идеально рассеивающим поверхностям можно с некоторым допущением отнести, например, свежеоштукатуренную известью стену, обычный киноэкран и т. п. Структура рассеивающей поверхности должна быть шероховатой, покрытой мельчайшими крупинками белого вещества.

В случае поверхности, отражающей свет идеально направленно, отраженный свет совершенно не рассеивается, а сохраняет структуру узкого пучка (рис. 39,*б*). Читателю из основ элементарной оптики известно, что в этом случае угол падения света $\alpha_п$ равен углу отражения α_0. Направленно отражающая поверхность должна быть гладкой, блестящей. В качестве примера можно представить себе различные зеркальные поверхности, например хорошо отполированный лист алюминия.

Промежуточный случай направленно-рассеянного отражения и применяется, собственно, в проекционных телевизионных системах. Представим себе, что отполированная поверхность, например пла-

стинка алюминия, обрабатывается наждачной бумагой или еще лучше — пескоструйным аппаратом. По мере обработки этой поверхности, т. е. по мере того, как она будет терять свою блестящую полировку и становиться все более матовой и шершавой, закон отражения от нее света будет меняться от чисто направленного до идеально рассеянного. Таким путем можно получить любое промежуточное направленно-рассеянное отражение (рис. 39,*в*). Следует подчеркнуть, что в этом случае для центрального вектора яркости отраженного света справедлив основной закон направленного отражения, т. е. $\alpha_п = \alpha_0$.

Для экранов, работающих на просвет, например, матовых стекол, применяющихся в проекционных телевизорах, прохождение света может быть также направленным, рассеянным и направленно-рассеянным (рис. 40). Желаемая степень рассеяния света в просветных экранах может быть подобрана, например, густотой матировки прозрачного материала экрана (стекла, пластмассы). Матировка может быть осуществлена добавкой примесей при варке стекла.

20. ВЫИГРЫШ, СОЗДАВАЕМЫЙ НАПРАВЛЕННО-РАССЕИВАЮЩИМ ЭКРАНОМ

Представим себе зрительный зал с большим телевизионным экраном, показанный на рис. 41 в плане. Здесь цифрами 1, 2, 3, ... обозначены ряды кресел, расположенные перед большим телевизионным экраном *MN*. Если экран (например, точка *A* на нем) рассеивает свет во все стороны с равномерной яркостью, то световой поток на участках $\alpha\beta$ и $\delta\varepsilon$ уходит в сторону от зрителей и, таким образом, бесполезно рассеивается. Использование направленно-рассеянного отражения с вытянутой в сторону зрителя диаграммой яркости *A* $\beta\gamma\delta$, создающее при том же полном световом потоке ощущение большей яркости, приведет к существенной экономии светового потока.

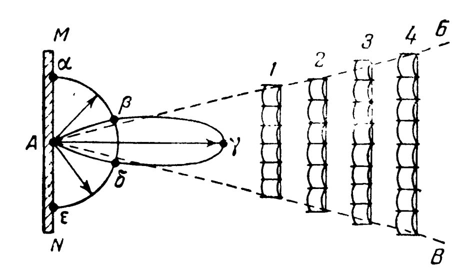


Рис. 41. Вид зрительного зала в плане и диаграммы направленности экрана.

Правда, зрители, находящиеся вне угла $\beta A\delta$, не смогут с нормальной яркостью наблюдать изображение во всех его участках. Таким образом, выигрыш в яркости создается у направленного экрана за счет уменьшения полезного угла зрения, т. е за счет уменьшения возможного числа зрителей.

Для оценки степени направленности экранов в светотехнике используется так называемый **коэффициент яркости** r, определяемый как отношение яркости данного экрана B к яркости идеально рассеивающего экрана B_0 (при равенстве полных световых потоков):

$$r = \frac{B}{B_0} \qquad (37)$$

Коэффициент яркости зависит от направления. Например, в направлении $A\gamma$ коэффициент яркости $r = r_{\text{макс}} = \frac{B\gamma}{B_0}$. В любом другом направлении этот коэффициент будет меньше.

С учетом коэффициента яркости формула (29) для подсчета яркости B' большого экрана приобретает следующий вид:

$$B' = r\,\frac{\rho\tau}{4\beta^2}\left(\frac{D}{f}\right)^2 B. \qquad (38)$$

Для экранов, используемых в телевидении, на практике коэффициент $r_{\text{макс}}$ (т. е в направлении на среднего зрителя) составляет 3—5. Таким образом, направленно-рассеивающие экраны дают возможность либо увеличить видимую яркость B' в 3—5 раз, либо при той же яркости в 3—5 раз уменьшить необходимую яркость экрана проекционного кинескопа, либо, наконец, при всех прочих равных условиях увеличить размеры большого экрана в $\sqrt{3} \div \sqrt{5}$ [в формулу (38) коэффициент увеличения β входит в квадрате].

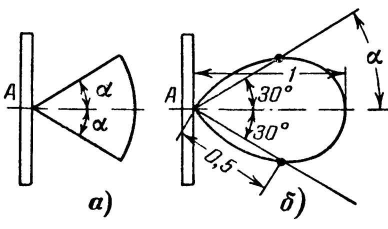


Рис. 42. Диаграмма направленности экрана.
а — идеальная; *б* — реальная.

Очевидно, что чем больше коэффициент направленности $r_{\text{макс}}$, тем уже полезный угол зрения *БАВ*. При $r_{\text{макс}} \geqslant 5$ угол зрения составит единицы градусов и пользоваться таким узко направленным экраном будет неудобно.

Обратившись к диаграмме яркости направленно-рассеивающего экрана мы видим, что даже для тех зрителей, которые находятся в полезном угле наблюдения *БАВ* точка *А* (как и другие точки экрана) не будет для всех казаться одинаково яркой. Наиболе яркой эта точка будет для зрителей, расположенных на прямой $A\gamma$, проходящей через ось симметрии фигуры рассеяния отраженного света. Идеальной диаграммой рассеяния, при которой для всех зрителей, находящихся в полезном угле зрения, яркость будет одинаковой, является сектор с дугой, имеющей центр кривизны в светящейся точке экрана (рис. 42,*а*).

Сейчас пока не найдено способа создавать направленно-рассеивающие экраны с идеальной диаграммой рассеяния, подобной на рис. 42,*а*. Практически эта диаграмма имеет форму груши (рис. 42,*б*), вытянутой по направлению к зрителю. Приняв из практики допустимым снижение яркости для зрителей, находящихся на

различных местах, вдвое, получим, например, для рис. 42,*б* угол рассеяния $2\alpha = 30° + 30° = 60°$.

Еще дополнительную и значительную экономию в световом потоке можно получить, учитывая расположение телезрителей. Для обычного расположения зрителей нет необходимости в том, чтобы угол рассеяния экрана 2α был одинаковым в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Экран должен отражать свет только в лицо

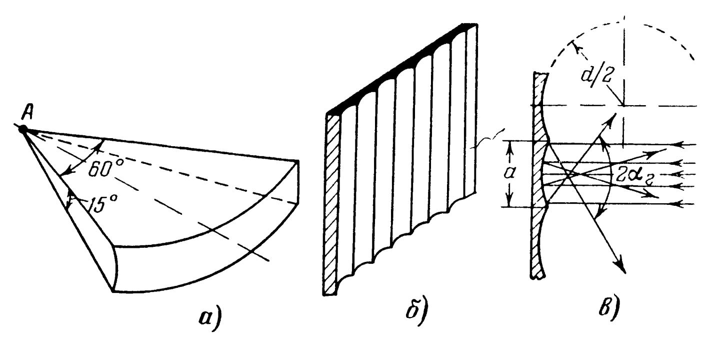


Рис. 43. Элементы специального экрана.
а — желательная (идеальная) диаграмма яркости большого экрана; *б* — вертикальные насечки на поверхности экрана; *в* — угол рассеяния $2\alpha_г$ в горизонтальной плоскости для экрана с вертикальными насечками.

(точнее в глаза) зрителя. Освещение туловища зрителя, потолка и пола помещения является бесполезной потерей светового потока. В связи с этим целесообразно угол рассеяния сильно сузить в вертикальной плоскости так, чтобы световой поток по возможности освещал только лица зрителей.

Таким образом, в этом случае диаграмма яркости должна быть сплющена в вертикальной плоскости в 3—4 раза по сравнению с горизонтальной плоскостью (рис. 43,*а*). При этом появляется возможность получить еще двух-трехкратный дополнительный выигрыш в видимой яркости.

21. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭКРАНЫ

Диаграмму яркости, имеющую различные углы рассеяния в вертикальной и горизонтальной плоскостях, получают специальной обработкой поверхности экрана.

Предположим, что направленно-рассеивающий экран имеет в обеих плоскостях одинаковую узконаправленную диаграмму яркости (угол 2α порядка 20°). Для того чтобы, сохранив такую узкую диаграмму в вертикальной плоскости, расширить угол рассеяния в горизонтальной плоскости на поверхности экрана, делают вертикальные насечки (накатки) в виде узких желобков (рис. 43,*б*). Пучок лучей падающего света после отражения от поверхности желобка расходится широким веером (рис. 43,*в*). Угол рассеяния $2\alpha_г$ зависит от диаметра кривизны $d=2r$. ширины желобка a и может быть подсчитан по следующей приближенной формуле (форму-

ла верна для желобков, работающих как сферическое зеркало и имеющих полированную вертикальную поверхность):

$$\sin \alpha_г = 2\frac{a\sqrt{d^2 - a^2}}{d^2}. \qquad (39)$$

Решая выражение (39) относительно d^2, получим:

$$d^2 = 2\frac{1 + \cos \alpha_г}{\sin^2 \alpha_г} a^2. \qquad (40$$

Для иллюстрации приведем конкретный пример. Требуется иметь экран с углами рассеяния в вертикальной плоскости $2\alpha_в = 20°$, а в горизонтальной плоскости $2\alpha_г = 60°$ Размеры экрана $h_э \times l_э = 90 \times 120$ *см*. Для этого экрана необходимо определить количество, ширину и диаметр кривизны вертикальных желобков.

1. Угол рассеяния в вертикальной плоскости $2\alpha_в = 20°$ создается соответствующей матировкой поверхности экрана. При этом такое же рассеяние образуется и в горизонтальной плоскости $2_{\alpha_г}' = 20°$. Формула (39) и рис. 43, *в* относятся к случаю зеркальных поверхностей желобков. Если же имеется предварительная матировка, то рассеяние в горизонтальной плоскости будет больше, а именно:

$$2\alpha_{г.п} = 2\alpha_г' + 2\alpha_г,$$

где $2\alpha_{г.п}$ — полный угол рассеяния, $2\alpha_г'$ — угол рассеяния, полученный только за счет матировки, и $2\alpha_г$ — угол рассеяния, подсчитанный по формуле (39) для случая отражения от сферической зеркальной поверхности. Таким образом,

$$\alpha_г = \alpha_{г.п} - \alpha_г' = \frac{60°}{2} - \frac{20°}{2} = 20°;$$

$$\sin \alpha_г = \sin 20° = 0{,}342; \ \cos \alpha_г = \cos 20° = 0{,}94.$$

2. Ширина желобка a должна быть не больше ширины строки телевизионного изображения, иначе вертикальные полосы на изображении, создаваемые „желобковой“ структурой большого экрана, будут заметны более, чем строчная структура растра. Имея в виду стандартный формат кадра $p = l_э/h_э = 4/3$ и приняв округленно число строк $z = 600$, получим следующее количество желобков:

$$n = pz = \frac{4}{3}600 = 800.$$

При заданном размере экрана по горизонтали $l_э = 120$ *см* ширина желобка составит:

$$a = \frac{l_э}{n} = \frac{120}{800} = 0{,}15 \text{ см} = 1{,}5 \text{ мм}.$$

3. Из формулы (40) определяем диаметр кривизны желобков.

$$d^2 = 2\frac{1+\cos\alpha_г}{\sin^2\alpha_г}a^2 = 2\frac{1+0{,}94}{(0{,}348)^2}(1{,}5)^2 = 74{,}8 \ мм^2;$$

$$d = \sqrt{74{,}8} = 8{,}66 \ мм.$$

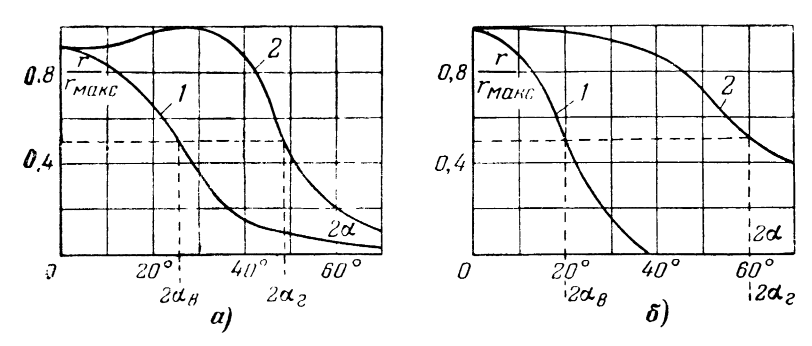


Рис. 44. Диаграммы яркости специальных экранов в вертикальной (кривая *1*) и горизонтальной (кривая *2*) плоскостях.
а — для экрана НИКФИ (СССР); *б* — для экрана фирмы Philco (США).

В качестве иллюстрации на рис. 44 представлены диаграммы направленности в вертикальной (кривая *1*) и в горизонтальной (кривая *2*) плоскостях для двух экранов, используемых на практике.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

НЕСКОЛЬКО ПРИМЕРОВ ПРОЕКЦИОННЫХ ТЕЛЕВИЗОРОВ

22. ПРОЕКЦИОННЫЙ ТЕЛЕВИЗОР С НЕБОЛЬШИМ ЭКРАНОМ

В первые годы после Второй мировой войны получили распространение проекционные телевизоры с экраном площадью в десятые доли квадратного метра ($S_э = 0{,}15 \div 0{,}2$ *м*^{2}). Сейчас приемники с экраном таких размеров имеют кинескоп прямого наблюдения крупных размеров. Например, размеры изображения на кинескопе 53ЛК2Б составляют $0{,}44 \times 0{,}33$ *м* $= 0{,}145$ *м*^{2}. Однако 10—15 лет назад вакуумная техника еще не освоила технологию производства кинескопов больших размеров, и в то время стояла задача, по какому пути пойти: по пути освоения производства кинескопов с крупным экраном или по пути развития домашних проекционных телевизоров с небольшим проекционным кинескопом и светосильной оптикой.

Домашние проекционные приемники с небольшим экраном обычно имеют консольное оформление, т. е. футляр такого телевизора имеет вид комода или тумбочки высотой 80—100 *см*. Экран представляет собой либо матовую полупрозрачную пластину (при рабо-

те на просвет), либо матовую отражающую поверхность (например, алюминий, протравленный в щелочи).

В качестве примера рассмотрим оптические и электрические параметры типичного проекционного телевизора американской фирмы Philco (модель 2500, выпуск 1947 г.). Оптическая схема телевизора представлена на рис. 45. В установке используется проекционный

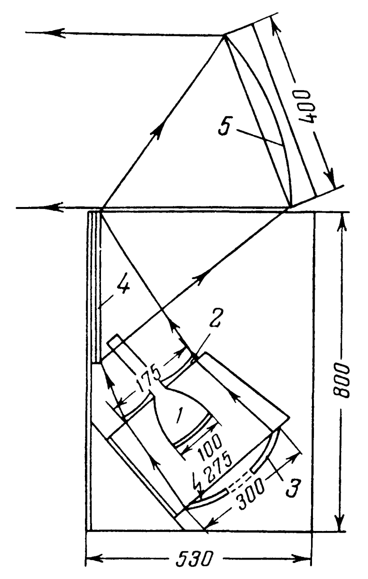


Рис. 45. Оптическая схема консольного проекционного телевизора с отражающим экраном.
1 — проекционный кинескоп; 2 — корректирующая линза; 3 — сферическое зеркало; 4 — плоское зеркало; 5 — отражающий экран.

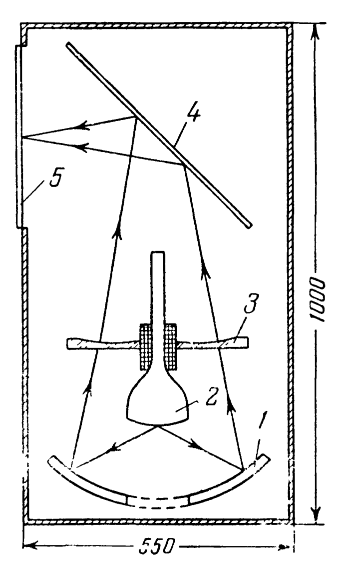


Рис. 46. Оптическая схема консольного проекционного телевизора с пропускающим экраном.
1 — сферическое зеркало; 2 — проекционный кинескоп; 3 — корректирующая линза; 4 — плоское зеркало; 5 — пропускающий экран.

кинескоп с диаметром экрана 4 дюйма (10 *см*). Люминофор изнутри покрыт алюминиевой пленкой. Размеры изображения на экране кинескопа составляют $h_к \times l_к = 5{,}6 \times 7{,}5$ *см*. При напряжении анода трубки 20 *кв* и пиковой величине тока электронного луча 600 *мка* яркость растра составляет 0,7 *сб*.

Изображение на отражающем экране 5 имеет размеры $S_э = h_э \times l_э = 37{,}5 \times 50$ *см* $= 0{,}188$ *м*^{2}. Таким образом, коэффициент увеличения

$$\beta = \frac{h_э}{h_к} = \frac{37{,}5}{5{,}6} = 6{,}7.$$

При фокусном расстоянии $f = 13{,}7$ *см* расстояние от отражающего экрана 5 до сферического зеркала 3 будет $x' + f = \beta f + f = 6{,}7 \cdot 13{,}7 + 13{,}7 = 105$ *см*. Чтобы уместить эти оптические размеры в футляре высотой 80 *см* используется плоское зеркало 4, при ко-

тором ход лучей удлиняется. Алюминиевое сферическое зеркало 3 имеет в центре круглое отверстие, назначение которого было рассмотрено в § 17.

Металлический слегка вогнутый отражающий экран (радиус кривизны 120 *см*) покрыт несколькими тысячами вертикальных желобков. Поэтому диаграммы направленности экрана имеют различный угол раствора в горизонтальной и вертикальной плоскостях ($2\alpha_г=60°$; $2\alpha_в=20°$). График диаграмм направленности этого экрана был дан на рис. 44. Яркость отражающего экрана равна примерно 15—20 *нт*.

Эскиз консольного проекционного приемника с экраном, работающим на просвет, приведен на рис. 46. Здесь также для компактности телевизора используется дополнительное плоское зеркало, а вся оптика располагается в самой нижней части телевизора.

Нашей промышленностью была выпущена небольшая партия проекционных телевизоров Т-4, имеющих оптическую систему, изображенную на рис. 45.

Несколько позже (в 50-х годах) вакуумная промышленность

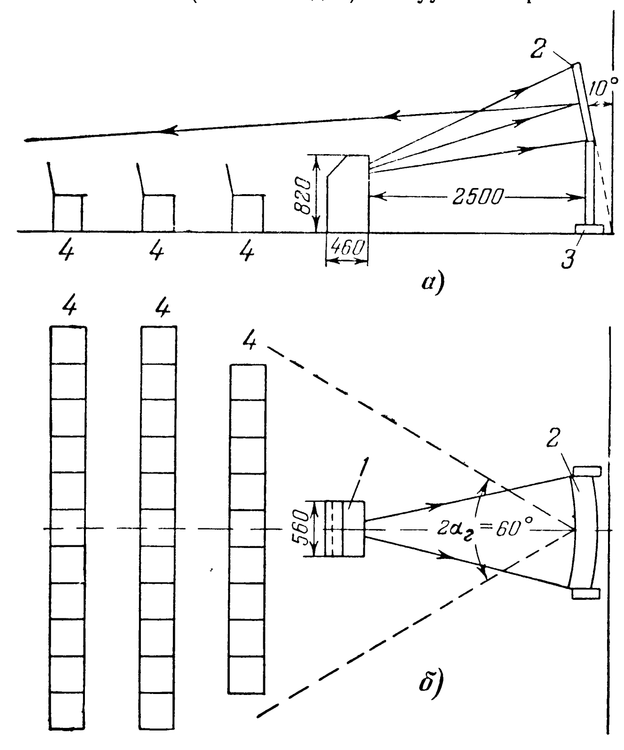


Рис. 47. Эскиз размещения проекционного телевизора „Москва" в зале.
а — расположение элементов в вертикальной плоскости; *б* — то же в горизонтальной плоскости.
1 — телевизор; *2* — экран; *3* — подставка (футляр); *4* — кресла.

освоила массовое производство кинескопов прямого наблюдения с большим экраном, например, отечественные кинескопы 40ЛК1Б, 43ЛК2Б, 53ЛК2Б. Таким образом, теперь уже нет смысла в производстве консольных проекционных телевизоров с экраном, имеющим размеры, сравнимые с экраном обычного телевизора с крупным кинескопом. Если сравнивать эти два типа телевизоров, то проекционный приемник имеет в 2—3 раза меньшую яркость изображения, должен иметь источник анодного питания приемной трубки в 2—3 раза большего напряжения, а также должен содержать достаточно сложное и громоздкое оптическое устройство и громоздкий футляр.

23. ПРОЕКЦИОННЫЙ ТЕЛЕВИЗОР СО СРЕДНИМ ЭКРАНОМ

В настоящее время технически и экономически целесообразно создавать конструкции проекционных телевизоров с экранами в единицы квадратных метров. Такой телевизор при его несложных конструкции и обслуживании будет удобен для установки не только в общественном месте (в клубе, доме отдыха и пр.), но и в жилой квартире. Однако существующие проекционные телевизоры сравнительно сложны и требуют квалифицированного обслуживания. К таким телевизорам относится отечественный проекционный телевизор «Москва» выпуска 1957 г. В настоящее время, после технологических, конструктивных и схемных усовершенствований, телевизор «Москва» выпускается под названием «Топаз».

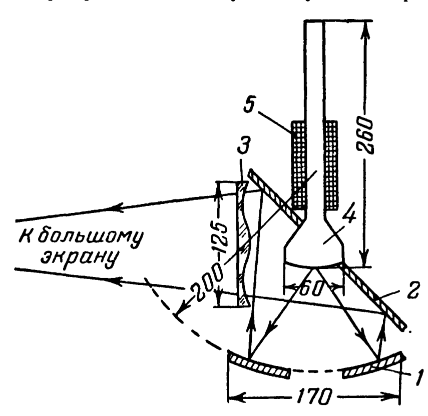


Рис. 48. Оптическая схема проекционного телевизора „Москва".
1 — сферическое зеркало, 2 — плоское зеркало; 3 — корректирующая линза; 4 — кинескоп; 5 — отклоняющая система.

В телевизоре «Москва» используется проекционный кинескоп типа 6ЛК1Б с анодным напряжением 25 *кв*. Изображение на экране кинескопа, имеющее размеры 3,6×4,8 *см* и яркость 1—1,5 *сб*, проецируется оптикой Шмидта на большой экран. Изображение на этом экране имеет размеры 90×120 *см* и яркость 15—20 *нт*. Большой экран изготовлен из алюминия, поверхность которого протравлена в щелочи. Экран хранится в специальном футляре. При демонстрации телевидения этот футляр служит подставкой для экрана. На рис. 47 дан эскиз установки телевизора «Москва» в зале и указаны основные размеры.

Для удобства управления телевизором имеется пульт дистанционного управления, соединенный с приемником при помощи гибкого многожильного кабеля длиной 6 *м*. На этот пульт вынесены дублирующие регулировки яркости, фокусировки и громкости.

На рис. 48 представлена оптическая схема проекционного устройства телевизора «Москва».

24. НЕКОТОРЫЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРОЕКЦИОННОГО ТЕЛЕВИЗОРА

Проекционный телевизор, предназначенный для обслуживания значительного числа зрителей, по всем светотехническим и акустическим показателям должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к телевизорам высшего класса. Изображение на большом экране должно сопровождаться большей акустической мощностью громкоговорителей, а само изображение должно иметь высокую четкость, контрастность и минимальные искажения, так как всевозможные его дефекты будут более заметны на большом экране

Схема такого телевизора содержит ряд обычных усовершенствований, например, автоматическую регулировку усиления видеосигнала, помехоустойчивую строчную синхронизацию и др. Вместе с тем имеются узлы схемы, характерные только для проекционных телевизоров. На примере телевизора «Москва» мы несколько подробнее рассмотрим три таких узла: 1) высоковольтный стабилизированный выпрямитель, 2) схему стабильной фокусировки электронного луча и 3) схему защиты приемной трубки от прожигания.

Высоковольтный выпрямитель. Как уже отмечалось, в проекционном телевизоре для питания кинескопа необходимо иметь анодное напряжение, в несколько раз большее, чем в обычных телевизорах. Кроме того, и ток луча проекционного кинескопа существенно больше, чем у обычного кинескопа. Поэтому широко используемый способ получения анодного питания трубки от выходного каскада строчной развертки в проекционном телевизоре оказывается практически непригодным, так как питание анодной цепи трубки является непосильной для него задачей. В связи с этим целесообразно в проекционном приемнике иметь отдельный достаточно мощный высоковольтный выпрямитель. Используя относительно несложную стабилизирующую схему, можно добиться постоянства анодного высоковольтного напряжения вне зависимости от средней величины тока луча проекционной трубки.

На рис. 49 представлена схема высоковольтного выпрямителя, применяемая в телевизоре «Москва». Выпрямитель содержит пять ламп. На левом (по схеме) триоде лампы 6Н1П собран задающий блокинг-генератор, работающий на частоте 1 000 *гц*. Пилообразное напряжение, образующееся на конденсаторе C_1, включенном в сеточную цепь блокинг-генератора, через переходной конденсатор C_3 подается на управляющую сетку мощного двойного тетрода ГУ-29. В анодной цепи этой лампы включен колебательный контур, образованный импульсным трансформатором Tp_2 и паразитной емкостью схемы, состоящей из междуэлектродных емкостей ламп, емкости монтажа и собственной емкости обмоток трансформатора. На обмотках импульсного трансформатора возникают затухающие синусоидальные колебания напряжения, частота которых (примерно 25 *кгц*) определяется значениями эквивалентных индуктивности и емкости контура. Амплитуда первого всплеска этого напряжения на анодной обмотке трансформатора составляет около 15 *кв*. Это напряжение выпрямляется тремя кенотронами 1Ц11П, включенными по схеме выпрямителя-удвоителя, причем кенотрон, отмеченный на рис. 49 цифрой *2*, играет роль сопротивления с односторонней проводимостью. Выпрямленное и удвоенное напряжение достигает

25 *кв*. Выходной фильтр образуется сопротивлением R_9 и емкостью между внешним и внутренним проводящими покрытиями колбы кинескопа.

Стабилизация высокого напряжения создается цепью обратной связи. Для этого в импульсном трансформаторе имеется специальная обмотка. К этой обмотке подключен правый (по схеме) триод лампы 6Н1П, работающий как диод. Таким образом создается выпрямитель напряжения затухающих колебаний со сглаживающим фильтром $C_4C_6R_8$. С выхода этого фильтра (с конденсатора C_4) отрицательное напряжение подается на управляющую сетку генераторной лампы ГУ-29. Одновременно через сопротивление R_4 на эту

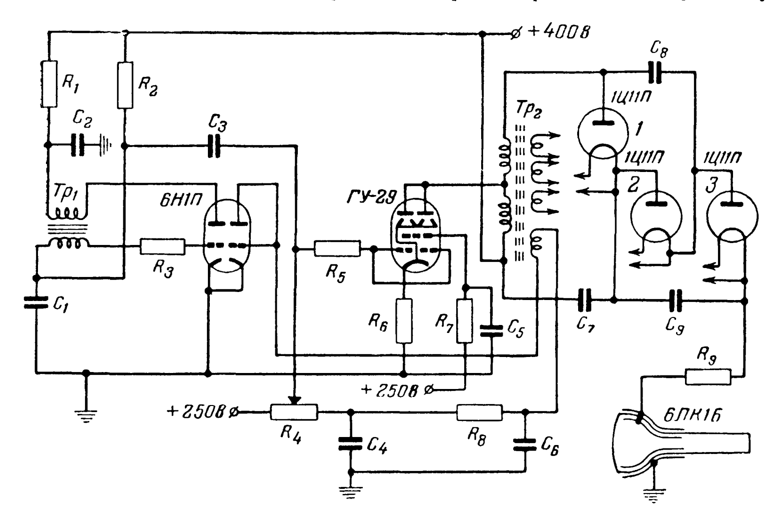


Рис. 49. Схема высоковольтного выпрямителя телевизора „Москва".

же сетку подается положительное напряжение источника питания телевизора. Положение движка переменного сопротивления R_4 определяет правильный выбор рабочей точки.

При увеличении нагрузки на высоковольтный выпрямитель, т. е. при увеличении тока луча кинескопа, высоковольтное напряжение должно было бы снизиться, так как дополнительная нагрузка приводит к уменьшению амплитуды затухающих колебаний в обмотках трансформатора, при этом уменьшится и величина отрицательного напряжения на конденсаторе C_4. Но тогда понизится отрицательное смещение на управляющей сетке лампы ГУ-29, возрастет ее анодный ток, увеличится генерируемая мощность, и высокое напряжение вновь поднимется до нормы. При уменьшении нагрузки (при уменьшении тока луча кинескопа) на управляющей сетке лампы ГУ-29 возникает дополнительное отрицательное смещение, снижающее чрезмерную мощность. Таким образом в схеме высоковольтного выпрямителя осуществляется широкоизвестная идея АРУ (автоматической регулировки усиления) с детектором АРУ, роль которого выполняет правый (по схеме) триод лампы 6Н1П.

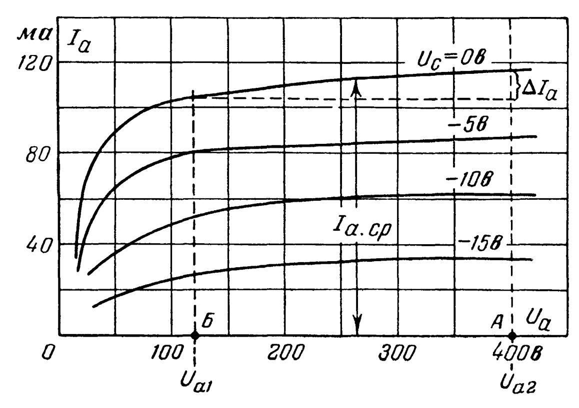


Рис. 50. Анодные характеристики анодного тока пентода (или тетрода).

Стабилизация фокусировки. При работе телевизора фокусирующая катушка постепенно нагревается проходящим через нее током. В результате этого ее активное сопротивление увеличивается на 15—20%. При этом, если не принимать специальных мер, величина фокусирующего тока по мере прогрева катушки будет постепенно уменьшаться, и фокусировка нарушится.

Для повышения стабильности фокусировки в цепь катушки следует включить элемент, поддерживающий постоянство тока вне зависимости от увеличения сопротивления катушки. Таким элементом может служить тетрод (или пентод), достаточно мощный, чтобы пропустить необходимую величину фокусирующего тока. В рабочей части анодных характеристик тетрода анодный ток практически не зависит от анодного напряжения (участок *АБ* на рис. 50) в том смысле, что при изменении напряжения на аноде лампы от U_{a2} до U_{a1} анодный ток изменяется на незначительную величину ΔI_a по сравнению с током лампы $I_{a.ср}$. Чем больше внутреннее сопротивление R_i, тем меньше отношение $\Delta I_a / I_{a\ ср}$, т. е. тем будут лучше стабилизирующие свойства тетрода или пентода.

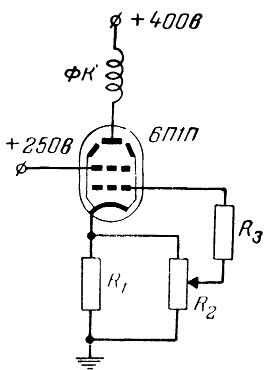


Рис. 51. Схема узла стабилизированной фокусировки электронного луча проекционного кинескопа телевизора „Москва"

Схема стабилизированной фокусировки телевизора «Москва» приведена на рис. 51. В этой схеме используется лучевой тетрод 6П1П, в анодную цепь которого включена фокусирующая катушка ФК, потребляющая ток около 30 *ма*. На катодном сопротивлении R_1 за счет анодного тока лампы создается падение напряжения около 15 *в*, которое через сопротивления R_2 и R_3 подается на управляющую сетку тетрода. При изменении положения движка потенциометра R_2 изменяется отрицательное смещение на сетке лампы

Этим достигается ручная регулировка фокусирующего тока. При изменении активного сопротивления фокусирующей катушки за счет ее прогрева анодное напряжение лампы изменится в таких пределах, в которых анодный ток практически не изменится.

Схема защиты экрана трубки. Электронный луч проекционного кинескопа обладает значительно большей мощностью, чем в обычном кинескопе. При нормальной работе телевизора эта мощность рассеивается почти на всей поверхности люминофора. Однако при неисправности одного или обоих генераторов развертки (строчного и кадрового) вместо растра на экране образуется светлая линия или точка. В этом случае мощность электронного луча, рассеиваемая

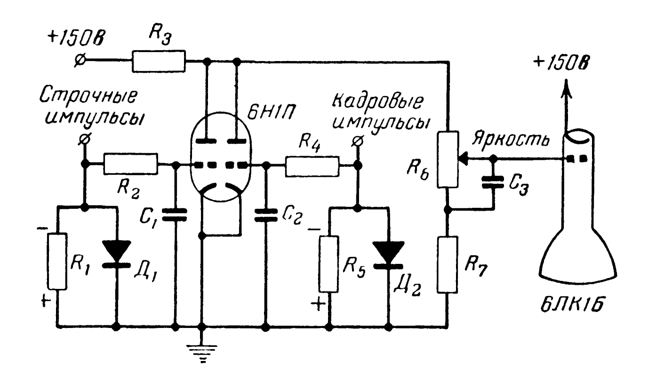


Рис. 52. Схема узла защиты от прожигания экрана кинескопа телевизора „Москва".

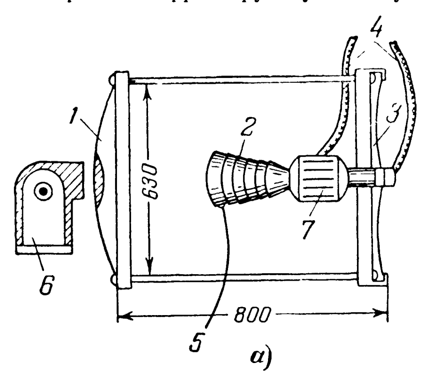
на небольшой поверхности люминофора, окажется недопустимой, что приведет к неизбежному прожиганию люминофора. В особенно мощных проекционных установках театрального типа под остановившимся лучом расплавляется даже стекло экрана трубки.

В связи с этим в проекционном телевизоре предусматривается схема защиты от прожигания экрана кинескопа. Такая схема, используемая в телевизоре «Москва», показана на рис. 52. На сетки двойного триода 6Н1П подаются импульсы напряжения строчной и кадровой частоты от генераторов развертки. Эти напряжения выпрямляются диодами $Д_1$ и $Д_2$, в результате чего на сопротивлениях R_1 и R_5 создается постоянное отрицательное напряжение, запирающее оба триода лампы 6Н1П. Элементы R_2C_1 и R_4C_2 образуют сглаживающие фильтры, устраняющие попадание переменной составляющей выпрямленного напряжения на сетки лампы.

В случае неисправности одного или обоих генераторов развертки переменное напряжение, подаваемое в сеточные цепи лампы 6Н1П, пропадает, также пропадает и выпрямленное диодами $Д_1$ или $Д_2$ отрицательное напряжение, триод или оба триода лампы 6Н1П отпираются и шунтируют высокоомную цепь регулировки яркости R_6R_7, в результате чего электронный луч кинескопа запирается.

25. ПРОЕКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ С ЭКРАНОМ, СРАВНИМЫМ ПО РАЗМЕРАМ С КИНОЭКРАНОМ

Для создания телевизионного экрана площадью в несколько десятков квадратных метров используется отражательная оптика, имеющая те же основные элементы, что и рассмотренные ранее (сферическое зеркало, корректирующую линзу Шмидта, проекционный кинескоп и направленный большой экран). Однако в таких установках используется особенно мощный кинескоп, работающий при анодном напряжении, достигающем 80 *кв*, причем ток луча может составлять на белых местах изображения 5—6 *ма*. Мощность, рассеивающаяся на экране такого кинескопа, оказывается настолько высокой, что трубка не в состоянии работать без специального охлаждения. С этой целью через отверстие в центре сферического



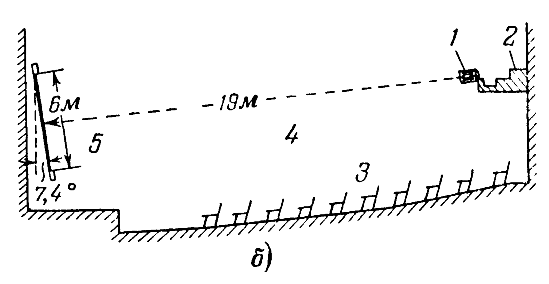


Рис. 53. Эскиз проекционной телевизионной установки „театрального" типа.
а — проекционно-оптический блок (*1* — сферическое зеркало; *2* — проекционный кинескоп; *3* — корректирующая линза; *4* — кабели питания; *5* — провод подачи высоковольтного напряжения; *6* — насос воздушного охлаждения экрана кинескопа; *7* — отклоняющая система); *б* — расположение элементов проекционной установки в зрительном зале (*1* — проекционная оптика; *2* — балкон; *3* — кресла партера; *4* — зрительный зал; *5* — экран).

зеркала при помощи центробежного насоса нагнетается струя воздуха, направленная на экран кинескопа.

В качестве примера такой «театральной» проекционной установки на рис. 53,*а* изображена американская проекционная система PT-100, создающая изображение на большом экране размерами 4,5×6 *м*. В этой установке используется мощный проекционный кинескоп 7NP4, работающий при анодном напряжении $U_а=80$ *кв* и имеющий ток луча $I_{а\,макс}=6$ *ма*. При этом пиковая яркость $B_{макс}=10$ *сб*. Большой экран имеет коэффициент направленности $r=1{,}8$ и яркость изображения 17 *нт*. Эта установка предназначена для использования во вместительных кино и театральных залах (как показано на рис. 53,*б*, длина зала составляет около 19 *м*).

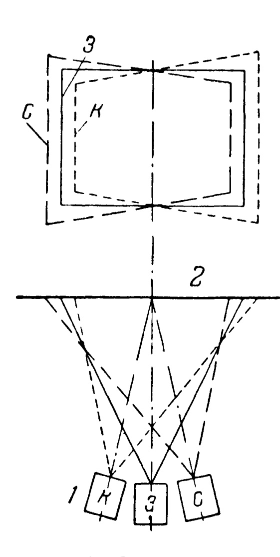


Рис. 54. Упрощенная схема проекционной установки цветного телевидения. Внизу дан эскиз расположения трех цветных проектов (*1* — проекторы, *2* — экран), а вверху показано возникновение геометрических искажений растра.

Проекционные установки применяются также для создания больших экранов цветного телевидения. В этом случае используются три проекционных кинескопа, каждый со своей оптикой. У каждого из этих кинескопов люминофор светится своим цветом: красным, синим и зеленым. Все три изображения проецируются на один большой экран, образуя многоцветную картину.

Как видно из рис. 54, три установки цветного телевидения проецируют изображения на большой экран под разными углами. Это вызывает трапецеидальные и другие геометрические искажения, приводящие к несовпадению всех трех искажений на большом экране. Для компенсации этих искажений применяются специальные схемы генераторов развертки, создающие трапецеидальные растры на экранах крайних кинескопов.

Цена 17 коп.